

# **AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO DA EX- DIREÇÃO DE GESTÃO DO TERRITÓRIO - APDL**

**FRANCISCA NEVES PEREIRA DA SILVA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

---

Co-orientadora: Arq.ta Maria Joana Pereira de Castro Sampayo de Azevedo

JULHO DE 2017

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



[miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



[feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais,

*“Ter certeza é não estar vendo”*

*Alberto Caeiro*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Eva Barreira, por todo o apoio e disponibilidade, por todos os cuidados técnicos e conselhos fundamentais.

Agradeço à minha coorientadora Arquiteta Joana Azevedo por todo o apoio e experiência, pela “visão prática”, agradeço à APDL pelo acolhimento e disponibilidade.

Aos meus pais, um especial agradecimento pelo amor e apoio incondicional, por acreditarem sempre em mim, por me mostrarem o caminho certo e me ajudarem a superar todos os obstáculos, à minha mãe pelo carinho e entusiasmo, ao meu pai pela incessante cooperação e partilha de conhecimento.

À minha irmã, por todos os momentos de cumplicidade, amizade incondicional e incentivo.

A toda a minha família, aos meus avós, aos meus padrinhos, aos meus tios e aos meus primos que estiveram sempre presentes.

Ao João que, apesar de longe, sempre me apoiou e, com uma boa dose de paciência, me ajudou e incentivou, permanentemente.

Aos meus amigos, aos de sempre, àqueles que me acompanharam ao longo destes últimos anos e sempre se mostraram disponíveis.

À minha irmã, Margarida e Bárbara com quem partilhei dias e noites de estudo e, também, à Inês, à Leonor, à Paula e a Leonor Castro pela amizade e força.

À Bárbara e à Maria, por não precisarem de estar perto para estarem sempre presentes.

Às minhas amigas Joana e Rita, pela amizade e apoio determinante ao longo destes anos, a elas e aos restantes Gormitis pelo companheirismo e todos os bons momentos, agradeço ao Sá e ao Brochado pela disponibilidade e ajuda.

À Andrea, madrinha e amiga, pelo exemplo e ao João Pedro pela amizade.

À Academia de Dança de Matosinhos, à Diana, à Francisca e colegas pela compreensão e colaboração.

A todas as empresas que me receberam, se disponibilizaram e colaboraram para que o trabalho se concretizasse, à Layeroof-Comércio de Materiais de Construção, Lda., à Onduline - Materiais de Construção, S.A., à Tramel S.A, à J&J Teixeira S.A, à José Teixeira Leça & Filhos Lda., à CIN S.A, Sika S.A, à Cimpor S.A à Saint-Gobain Weber Portugal, S.A., à Piso Superior Construção e Reparação de Edifícios, Lda. e à Construções Cristão & Cristão, Lda., um sincero agradecimento.

A todos os outros que de alguma forma contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.



## **RESUMO**

Reabilitar é uma importante atividade da engenharia civil, não só pela preocupação em conservar o património mas também pela sua importância na sustentabilidade e no planeamento do território.

A reabilitação exige um conhecimento das técnicas e materiais antigos, mas também dos mais atuais. Para definir uma intervenção é importante estudar as diferentes possibilidades e escolher a que melhor se adapta ao edifício a reabilitar. Para que sejam definidas as causas e eliminadas as patologias, é essencial a elaboração de um diagnóstico minucioso.

O presente trabalho desenvolve-se no âmbito da reabilitação de edifícios antigos, com aplicação a um caso de estudo: o edifício da ex-Direção de Gestão do Território – APDL. Em que o objetivo é definir soluções adequadas para a reabilitação (não estrutural) de um edifício em alvenaria de pedra do início do século XX. Para isso, realizou-se um levantamento das patologias não estruturais e desenvolveram-se ensaios com humidímetro, com o objetivo de identificar as possíveis causas das anomalias observadas.

O objetivo final do trabalho é a proposta de soluções viáveis para a reabilitação do edifício em estudo, descrevendo cada solução e avaliando vantagens, inconvenientes e custos, para uma análise comparativa de soluções.

Palavras-chave: Patologias, Reabilitação, Edifícios antigos





## **ABSTRACT**

Rehabilitation is a very important activity for civil engineering, due not only to the need of maintaining patrimony but also for its importance in terms of sustainability and territorial planning. It demands a knowledge of ancient techniques and old materials but also of current ones. It is important to study the different possibilities and choose the one that fits the best to the building under study. Understanding the importance of a careful diagnosis to define the causes and eliminate the pathologies.

This thesis was developed in order to study the rehabilitation of old buildings, with application of a case study: the building of the former Direction of Territory Management-APDL. Firstly, there was a withdrawal of the non-structural pathologies and rehearsals with a humidimeter to determine the humidity level in order to identify the possible causes of the anomalies observed.

The main objective of this thesis is the proposal of viable solutions for the rehabilitation of the studied building, doing a comparative analysis of solutions in terms of advantages, disadvantages and cost.

Keywords: Pathologies, Rehabilitation, Old buildings



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>XIV</b>
 <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	 <b>1</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	1
1.3. ESTRUTURA .....	2
 <b>2. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS.....</b>	 <b>3</b>
2.1. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS .....	3
2.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	3
2.1.2. DEFINIÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS .....	3
2.1.3. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS .....	4
2.1.4. FASES DE UM PROCESSO DE REABILITAÇÃO.....	4
2.2. REGULAMENTOS, LEGISLAÇÕES E NORMAS.....	5
2.3. METODOLOGIAS DE REABILITAÇÃO .....	8
2.3.1. PATOLOGIAS MAIS FREQUENTES .....	8
2.3.1.1. HUMIDADE .....	8
2.3.1.2. FISSURAÇÃO .....	11
2.3.1.3. ENVELHECIMENTO E DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS.....	12
2.3.1.4. EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA, CONFORTO E ECONÓMICAS.....	13
2.3.2. DIAGNÓSTICO .....	13
2.3.3. INTERVENÇÃO.....	17
2.3.3.1. TIPOS DE INTERVENÇÃO .....	17
2.3.3.2. REABILITAÇÃO DE REVESTIMENTOS.....	18
2.3.3.3. REABILITAÇÃO DE CAIXILHARIA .....	18
2.3.3.4. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS .....	19
2.3.3.5. REABILITAÇÃO TÉRMICA E ACÚSTICA .....	19
 <b>3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO - CASO DE ESTUDO.....</b>	 <b>21</b>
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	21
3.2. LOCALIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO HISTÓRICO.....	21
3.3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO .....	24
3.4. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS .....	27
 <b>4. AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS E CAUSAS PROVÁVEIS.....</b>	 <b>40</b>
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	40
4.2. ENSAIOS <i>In Situ</i> .....	40
4.2.1. EQUIPAMENTO.....	40
4.2.2. METODOLOGIA DE ENSAIO .....	41
4.2.3. RESULTADOS.....	45
4.2.3.1. CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS .....	45

4.2.3.2.	PATOLOGIA A .....	49
4.2.3.3.	PATOLOGIA B .....	50
4.2.3.4.	PATOLOGIA C .....	52
4.2.3.5.	PATOLOGIA D .....	53
4.2.4.	PRINCIPAIS CONCLUSÕES DOS ENSAIOS .....	53
<b>4.3.</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS POSSÍVEIS.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.</b>	<b>SÍNTESE CRÍTICA.....</b>	<b>57</b>
<b>5.</b>	<b>PROPOSTAS DE SOLUÇÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>5.2.</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES .....</b>	<b>59</b>
5.2.1.	NOTA INTRODUTÓRIA .....	59
5.2.2.	COBERTURA .....	61
5.2.2.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	61
5.2.2.2.	SOLUÇÃO CO.1 .....	62
5.2.2.3.	SOLUÇÃO CO.2 .....	63
5.2.2.4.	SOLUÇÃO CO.3.....	64
5.2.2.5.	SOLUÇÃO CO.4.....	65
5.2.3.	FACHADA FACE EXTERIOR .....	66
5.2.3.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	66
5.2.3.2.	SOLUÇÃO FE.1 .....	66
5.2.3.3.	SOLUÇÃO FE.2.....	67
5.2.3.4.	SOLUÇÃO FE.3.....	68
5.2.3.5.	SOLUÇÃO FE.4.....	70
5.2.4.	FACHADA FACE INTERIOR .....	71
5.2.4.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	71
5.2.4.2.	SOLUÇÃO FI.1 .....	71
5.2.4.3.	SOLUÇÃO FI.2 .....	71
5.2.4.4.	SOLUÇÃO FI.3 .....	72
5.2.4.5.	SOLUÇÃO FI.4 .....	73
5.2.5.	CAIXILHARIA .....	74
5.2.5.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	74
5.2.5.2.	SOLUÇÃO CA.1 .....	74
5.2.5.3.	SOLUÇÕES CA.2, CA.3 E CA.4.....	75
<b>5.3.</b>	<b>ANÁLISE COMPARATIVA DAS DIFERENTES SOLUÇÕES .....</b>	<b>75</b>
5.3.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	75
5.3.2.	COBERTURA .....	76
5.3.3.	FACHADA FACE EXTERIOR .....	77
5.3.4.	FACHADA FACE INTERIOR .....	80
5.3.5.	CAIXILHARIA .....	81
<b>5.4.</b>	<b>SÍNTESE CRÍTICA.....</b>	<b>83</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>85</b>
<b>6.1.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>87</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Humidade de construção [15] .....	9
Figura 2 – Humidificação da parede por águas freáticas (esquerda – fundação abaixo do nível freático; centro – nível freático abaixo da fundação) ou superficiais (direita) [16] .....	9
Figura 3 – Condensações superficiais [15] .....	10
Figura 4 – Anomalia de causa fortuita: deficiente aplicação do tubo de queda [15] .....	11
Figura 5 – Exemplo de fissuração .....	12
Figura 6 – Envelhecimento e degradação do edifício [15] .....	12
Figura 7 – Câmara termográfica Luke TI450 [15] .....	14
Figura 8 – Humidímetro [26] .....	15
Figura 9 – Marcadores de sais [26] .....	15
Figura 10 – Esclerómetro [26] .....	15
Figura 11 – Ultrassons [26] .....	16
Figura 12 - Tubos de Karsten [26] .....	16
Figura 14- Construção do Porto de Leixões (1884-1892) (a) Molhe do Norte visto dos rochedos de Leixões .....	23
(b) Estaleiro dos blocos artificiais do molhe Norte com o Titan em montagem. 1885. [35] .....	23
Figura 15 – Evolução esquemática do complexo portuário de Leixões [35] .....	23
Figura 16 – Edifício em estudo .....	24
Figura 17 - Vista aérea do edifício em estudo (adaptado de [40]) .....	25
Figura 19 – Planta do piso 1 .....	26
Figura 21 – mapeamento das fissuras – alçado principal .....	29
Figura 22 – Exemplos de patologias nas caixilharias (a) caixilharia degradada, no exterior (b) caixilharia degradada no compartimento b <sub>0</sub> (c) pormenor de folga e fragmentação na caixilharia, no compartimento a <sub>1</sub> .....	30
Figura 23 – Exemplos de patologias em elementos metálicos (a) fecho de caixilharia, no R/C, compartimento b <sub>0</sub> (b) dobradiça de uma porta interior, no compartimento h <sub>1</sub> .....	31
Figura 24 – Exemplo de patologias no soalho de madeira .....	31
Figura 27 – Exemplos de empolamento da tinta .....	34
(a) sob o vão da fachada, compartimento c <sub>1</sub> (b) na fachada principal, compartimento a <sub>1</sub> .....	34
Figura 28 – Exemplos de colonização biológica (a) na fachada principal, compartimento b <sub>0</sub> .....	35
(b) no peitoril, compartimento c <sub>1</sub> (c) na fachada norte .....	35
Figura 29 – Exemplos de sujidade ao longo da fachada .....	36
Figura 30 – Exemplo da cobertura degradada (adaptada de [40]) .....	36
Figura 31 – Exemplos da degradação das tubagens (a) na fachada principal (b) na fachada sul .....	37
Figura 34 – Humidímetro utilizado (Stanley 77-030) .....	40
Figura 35 – Esquema do medidor de humidade 77-030 STANLEY .....	41
A – elétrodos; B – tampa de proteção, com tomadas para testar a pilha e a resistência; C – botão de ligar/desligar; D – pegas de borracha; ecrã LCD com luz de fundo [41] .....	41
Figura 36 – Ecrã do aparelho com as respetivas escalas, à esquerda para a madeira e à direita para os restantes materiais construtivos. [41] .....	41
Figura 37 – Localização das patologias .....	42
Figura 41 – Contextualização da patologia A (a) piso 1 (b) patologia em análise (c) exterior .....	56
Figura 43 – Esquema das soluções propostas .....	60

Figura 46 – Exemplo de produto: placa OSB + Membrana de SubTelha Delta®-Vent S Plus da Doerken, em Polipropileno; com características de impermeabilidade à água em estado líquido mas permeável ao vapor de água, com Sd igual a 0,02m e peso de 150g/m². ....	63
Figura 47 – Exemplo de produto: membrana respirável da Doerken, em poliéster altamente resistente ao desgaste, revestido por poliuretano permeável ao vapor; com características de impermeabilidade à água em estado líquido mas permeável ao vapor de água, com Sd de aproximadamente 0,15m e peso de 190g/m². ....	64
[43]	64
Figura 48 – exemplo de produto: placa OSB + subtelha ONDULINE ST50 ® placa fibrobetuminosa (peso de cerca de 3,1 kg/m²) (a) – esquema construtivo: A – placa OSB, B – subtelha, C – ripa PVC, D – telha; (b) – pormenor subtelha [43] .....	65
Figura 49 – Exemplo de produto: (a) - ONDULINE ST50 ® placa fibrobetuminosa (peso de cerca de 3,1 kg/m²) (b) – pormenor de telha de ventilador de subtelha [43] .....	66
Figura 57 - Desenho de caixilharia-tipo, base para as propostas de reabilitação apresentadas .....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Zona e mapa de ensaio .....	43
Tabela 2 – Conversão de escalas.....	44
Tabela 3 – Relação da escala de humidade com a escala de cores atribuídas.....	45
Tabela 4 – Condições climatéricas exteriores da semana de 23 a 30 de Março .....	46
Tabela 5 - Condições climatéricas exteriores da semana de 31 de Março a 7 de Abril.....	47
Tabela 6 - Condições climatéricas exteriores da semana de 10 de Maio a 17 Maio .....	48
Tabela 7 – Ensaio dia 30/03/2017 .....	49
Tabela 8 – Ensaio dia 07/04/2017 .....	49
Tabela 9 – Ensaio dia 07/04/2017 .....	50
Tabela 10 – Ensaio dia 17/05/2017 .....	50
Tabela 11 – Ensaio dia 30/03/2017 .....	50
Tabela 12 – Ensaio dia 07/04/2017 .....	51
Tabela 13 – Ensaio dia 17/05/2017 .....	51
Tabela 14 – Ensaio dia 30/03/2017 .....	52
Tabela 15 – Ensaio dia 07/04/2017 .....	52
Tabela 16 – Ensaio dia 17/05/2017 .....	52
Tabela 17 – Ensaio dia 30/03/2017 .....	53
Tabela 18 – Ensaio dia 07/04/2017 .....	53
Tabela 19 – Classificação qualitativa dos custos das soluções .....	75
Tabela 20 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da cobertura.....	76
Tabela 21 – Análise de custos para as soluções da cobertura .....	77
Tabela 22 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da fachada face exterior .....	77
Tabela 23 - Análise de custos para as soluções da fachada fac.....	79
Tabela 24 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da fachada face interior .....	80
Tabela 25 – Análise de custos para as soluções da fachada face interior .....	81
Tabela 26 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da caixilharia .....	82
Tabela 27 – Análise de custos para as soluções da caixilharia.....	83





## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

$U$  – coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$U_{\text{máx}}$  – coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$S_d$  – permeabilidade ao vapor

HR – humidade relativa [%]

$R_{\text{si}}$  – resistência superficial interior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$R_{\text{se}}$  – resistência superficial exterior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

FEUP – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto

APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo S.A.

Ex-DGT – ex-Direção de Gestão do Território

DL – Decreto-lei

RGEU – Regulamento geral das edificações urbanas

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização no Edifícios

SCE – ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

REH – Regulamentação dos Edifícios de Habitação

NP – Norma Portuguesa

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

OSB – Oriented Strand Board





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A reabilitação exige um conhecimento profundo do edifício. Para melhorar a qualidade de vida e as condições de segurança, térmicas e acústicas do utilizador é necessário compatibilizar as soluções existentes com aquelas que se pretende aplicar. Para que a intervenção seja bem conseguida é preciso conhecer as técnicas, tecnologias e os materiais do passado, bem como os da atualidade.

Para além deste conhecimento, a elaboração de um bom diagnóstico é essencial para definir as causas das patologias, posteriormente, eliminá-las e definir a estratégia de intervenção.

Neste trabalho é estudada a reabilitação de um edifício específico: o edifício da ex-Direção de Gestão do Território – APDL. Edifício degradado, com diversas patologias e desempenho desadequado face às atuais exigências de conforto (térmico, acústico, e segurança); o qual a APDL pretende reabilitar para que seja ocupado com novos serviços.

Após visitas ao local e recolha de informações foi elaborado um levantamento das patologias não estruturais do edifício. Para o estudo do diagnóstico procedeu-se à elaboração de ensaios com humidímetro em 4 paredes com patologias causadas pela presença de humidade. Realizaram-se ensaios em três dias distintos para que fosse possível uma comparação de valores e correlação com as condições climatéricas. Relativamente aos ensaios, não se pretendia um estudo exaustivo dos mesmos, pois o objetivo principal do trabalho, é a proposta de soluções para a reabilitação do edifício em estudo.

Por fim, foram elaboradas possíveis soluções para a reabilitação não estrutural da envolvente, são apresentadas soluções para a cobertura, fachada face exterior e face interior e caixilharia. Através de uma análise procurou-se selecionar aquelas que visam ocultar ou eliminar as patologias, garantem durabilidade e contribuem para um maior conforto térmico. Para as soluções apresentadas foram analisadas as vantagens, inconvenientes e custos associados, fazendo um estudo comparativo, de forma que, para cada elemento a reabilitar, se identificasse a solução mais vantajosa e a de menor custo.

### 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O interesse deste trabalho, de carácter prático, é aplicar os conhecimentos teóricos da reabilitação e das patologias a um caso real e perceber o papel do engenheiro nesta importante tarefa de reabilitar. O objetivo deste trabalho é definir soluções adequadas para a reabilitação (não estrutural) de um edifício em alvenaria de pedra do início do século XX. Para alcançar este objetivo foram definidos objetivos parciais:

- Conhecer a regulamentação existente, as manifestações mais comuns, os principais métodos de diagnóstico e metodologias de intervenção
- Caracterizar o edifício em estudo, nomeadamente as suas características construtivas e principais manifestações.
- Elaborar um levantamento das patologias não estruturais do edifício
- Realizar ensaios para avaliar as patologias originadas pela humidade
- Atribuir causas prováveis para as patologias observadas
- Definir soluções possíveis para a fachada e cobertura do edifício
- Identificar as vantagens e as desvantagens de cada solução
- Avaliar o custo estimado para cada solução
- Identificar a solução mais vantajosa e a de menor custo.

### **1.3. ESTRUTURA**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos:

- No Capítulo 1 dedica-se à introdução, identificando o tema, os objetivos e a organização do trabalho desenvolvido.
- No Capítulo 2 é abordado o tema em estudo através de uma revisão do estado da arte, caracterizando a reabilitação de edifícios antigos, as principais patologias, regulamentação existente e possíveis metodologias de diagnóstico e intervenção.
- No Capítulo 3 é caracterizado o edifício em estudo e apresentado o levantamento das patologias observadas.
- No Capítulo 4 é apresentada a metodologia e os resultados dos ensaios realizados, com comentários a estes. Identificam-se possíveis causas para as manifestações analisadas.
- No Capítulo 5 descrevem-se as soluções tipo definidas, uma breve descrição das mesmas, principais vantagens e inconvenientes, e uma estimativa de custos inerentes a cada solução, com alguns comentários.
- No capítulo 6 apresentam-se as conclusões do trabalho desenvolvido.

# 2

## REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

### 2.1. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

#### 2.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na área da construção tem-se assistido a uma mudança pois, durante as últimas décadas, em Portugal, só se realizava construção nova, esquecendo as obras de recuperação, manutenção e conservação. Esta lacuna levou à desvalorização do património habitacional, e à degradação e abandono de edifícios. Hoje, há uma forte expansão do mercado da reabilitação, consequência da consciencialização da necessidade de reabilitar para melhorar as condições de habitabilidade e dar vida aos bairros e centros históricos [1].

A reabilitação tem uma enorme importância no mundo de hoje e na construção do futuro. Esta atividade é marcada pelo compromisso com a sustentabilidade, o planeamento urbanístico, a conservação do património edificado, as responsabilidades de valor histórico e ambiental e ainda pela melhoria global dos edifícios. O objetivo é melhorar as condições físicas e funcionais do parque edificado, assim como, revitalizar as zonas urbanas, os centros históricos degradados, assegurando melhorias de acessibilidade, segurança, habitabilidade e manutenção dos edifícios [2].

#### 2.1.2. DEFINIÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

A definição de edifícios antigos não é consensual, existindo várias formas de definir as diferentes épocas de construção. Esta divisão em épocas de construção pode ser feita segundo as soluções construtivas, os materiais utilizados, as tecnologias aplicadas ou os regulamentos existentes [1].

Para o desenvolvimento deste trabalho, definiu-se edifícios antigos como todas as construções anteriores à utilização do betão armado [3, 4]. Esta definição engloba todos os edifícios construídos até meados do século XX, data a partir da qual ocorre a grande mudança ao nível da tecnologia de construção, substituindo as estruturas de alvenaria e madeira pelo betão.

Os edifícios antigos são todos os anteriores à era do betão, não só os monumentais, com interesse do ponto de vista arquitetónico e cultural, mas todos os centros urbanos, edifícios habitacionais, espaços industriais e construções modestas [5].

Cada edifício representa uma época, um quotidiano, uma ou várias gerações, conta a história dos seus utilizadores. Cada edifício é uma exposição de desenhos arquitetónicos, métodos construtivos e vivências passadas. Hoje, há uma responsabilidade em preservar e utilizar todo este conhecimento para o desenvolvimento de futuras gerações [6].

### 2.1.3. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Considerando que os edifícios antigos são anteriores aos anos 50, estes edifícios e os materiais que os constituem estão, naturalmente, envelhecidos, e se não foram sujeitos a operações de manutenção regulares, poderão encontrar-se num estado de degradação avançado. Assim, de acordo com o estado de conservação do edificado, são definidas as necessidades de intervenção. Citando Freitas *et al*, “*Por reabilitação de edifícios entendem-se as ações de intervenção necessárias e suficientes para os dotar de condições de segurança, funcionalidade e conforto, respeitando a sua arquitetura, tipologia e sistema construtivo.*” [4].

Os edifícios devem adaptar-se, dentro do possível, às exigências de conforto atualizadas, às novas necessidades funcionais e às condições ambientais, cujas exigências vão aumentando com o passar dos anos. Deve haver uma preocupação em aumentar o nível de conforto do edifício, mas preservando a sua identidade e as características que o definem.

Atualmente, para além de todas as exigências de conforto e desempenho do edifício, há uma preocupação crescente de sustentabilidade. O sector da construção é uma das indústrias com maior produção de dióxido de carbono, consumo e desperdício de recursos naturais.

Verifica-se um crescente número de edifícios reabilitados, mas é necessário um maior cuidado no ato de reabilitar para que não surjam novas anomalias, logo após a conclusão da obra. Para que a reabilitação seja, de facto, duradora e contribua para um desenvolvimento sustentável, é necessário um conhecimento técnico profundo. Uma reabilitação que preconize soluções deficientes e uma manutenção insuficiente do edifício contribui para a reincidência das patologias e para o envelhecimento dos imóveis. As intervenções não devem, simplesmente, ocultar as patologias, mas solucionar o problema, eliminando a sua causa. É fundamental a elaboração de um projeto rigoroso, detalhado e uma escolha adequada dos materiais. A intervenção deve ser criteriosamente definida de acordo com os materiais e técnicas existentes, para que haja compatibilidade entre estes e aqueles que se pretende aplicar [6, 7].

### 2.1.4. FASES DE UM PROCESSO DE REABILITAÇÃO

O processo de reabilitação pode-se considerar composto por 5 fases:

- Viabilidade da intervenção
- Diagnóstico/Estudo Prévio
- Definição da estratégia
- Projeto de execução
- Análise técnico-económica.

A fase de viabilidade da intervenção tem dois objetivos: conhecer o edifício e avaliar se a operação de reabilitação é praticável. Esta avaliação deve incluir estudos de viabilidade ao nível do tempo, do espaço, e aspetos técnico-económicos. A viabilidade económica depende dos trabalhos a realizar, tornando-se essencial que o estudo prévio e o projeto de execução sejam completos e detalhados. A reabilitação de edifícios antigos apresenta maior dificuldade dada a necessidade de estabelecer uma harmonia entre este tipo de edifícios (com características tão especiais) e as exigências da construção atual. Como já existe um edifício, é importante que o projeto se ajuste ao edificado. A complexidade do projeto dependerá do valor patrimonial, do estado de conservação e de todas as condicionantes relativas à localização do edificado [4].



O diagnóstico, ou estudo prévio, supõe um estudo rigoroso da intervenção prevista, que deve ser realizado por profissionais com experiência. Inicia-se esta fase com uma pesquisa da história do edifício, com o objetivo de conhecer a funcionalidade (no passado e no presente), ano de construção, assim como, eventuais intervenções. Para um conhecimento aprofundado do edifício, recolhem-se todas as peças escritas e desenhadas e, analisam-se os documentos recolhidos. Depois do estudo efetuado, prosseguem-se as visitas ao interior e exterior do edifício, para um levantamento do estado de degradação, e registo fotográfico. Poderá revelar-se necessária uma avaliação estrutural do edifício e, caso se justifique, a implementação de um sistema de monitorização para controlar os movimentos da estrutura. Para uma melhor caracterização pode-se recorrer a sondagens, ensaios ou medidas que permitam um maior conhecimento do edifício. Estes ensaios podem ser realizados em laboratório ou *in situ* [4].

Toda a informação proveniente desta fase de diagnóstico deve ser compilada num só documento, que deverá contemplar todas as informações conhecidas através dos procedimentos descritos. Este documento deve ser constituído por diferentes capítulos: localização e descrição do edifício; descrição dos elementos construtivos em análise; sondagens, medições e ensaios; caracterização do estado de degradação e identificação das anomalias; análise das causas prováveis, metodologia proposta para os trabalhos de reabilitação e, por fim, estimativa de custos da obra.

A elaboração do estudo de diagnóstico é complexa e deve ser concretizada por uma equipa especializada e qualificada na área das patologias e reabilitação. É essencial que seja elaborado um estudo de diagnóstico completo e fidedigno, pois com base neste estudo serão definidas as soluções de intervenção [4].

A partir de todas as informações recolhidas, o dono-de-obra consegue definir a estratégia de intervenção. Definida esta, a etapa seguinte é a de elaboração do projeto de execução, composto por peças escritas e desenhadas. Este conjunto de documentos deve descrever, com detalhe e cuidado, os trabalhos a realizar.

A última fase é a análise técnico-económica das propostas. A avaliação das propostas deve incluir uma análise comparativa dos preços unitários, para que sejam eliminados valores absurdos, e uma outra análise comparativa dos produtos/tecnologias propostos pelas empresas. Devem ser analisadas as situações em que os empreiteiros não dão uma resposta aos mapas de trabalhos e quantidades e ao caderno de encargos, e pedir eventuais valores em falta. A avaliação da capacidade técnica da empresa é de extrema importância, pois a experiência e especialização na área da reabilitação será determinante para o sucesso da obra. Por fim, e para facilitar a escolha da proposta, elabora-se uma análise multicritério [4].

## **2.2. REGULAMENTOS, LEGISLAÇÕES E NORMAS**

As obras de conservação e reabilitação de edifícios são impostas por documentos legislativos e regulamentares previstos, uma vez que a legislação atribui aos proprietários a responsabilidade de conservar os edifícios [4].

A lei n.º 107/2001, de 08 de Setembro “estabelece as bases da política e do regime de proteção e valorização do património cultural”. O artigo 45º refere-se à obrigatoriedade dos estudos e projetos para obras de conservação, modificação, reintegração e restauro em bens classificados, ou em vias de, e da qualificação técnica de quem os elabora. Determina a entrega de um relatório que deve incluir todos os documentos escritos e desenhados, desde a natureza da obra, técnicas, metodologias, materiais e fotografias, quando finalizada a obra. O artigo 46º, desta mesma lei, dedica-se à obrigatoriedade das obras de conservação, atribuindo aos proprietários ou titulares o dever de executar todas as intervenções que a administração do património cultural competente considere necessárias para salvaguarda do

edificado. A mesma lei tem, também, uma subsecção dedicada aos monumentos, que pela sua importância histórico-cultural impõe maior exigência [8].

O DL n.º 38382/51, de 07 de Agosto apresenta o regulamento geral das edificações urbanas (RGEU), que foi aprovado em 1951 e ainda não sofreu alterações, embora apresente vários artigos revogados [8]. O DL n.º 555/99 estabelece o regime jurídico da urbanização e edificação, sendo que a secção IV é dedicada à utilização e conservação do edificado. O artigo 89º expõe o “Dever de conservação”, referindo que as edificações deverão ser sujeitas a obras de conservação, no mínimo de 8 em 8 anos, sendo este dever do proprietário já referido no RGEU (artigo 9º), posteriormente revogado. Para além desta obrigação periódica, devem ser realizadas obras sempre que sejam postas em causa as condições de segurança, salubridade e estética. A autarquia pode a qualquer altura determinar a execução de obras de correção às condições acima descritas ou ordenar a demolição total ou parcial de edificações que coloquem em perigo a segurança e a saúde pública [8].

Os documentos apresentados são de carácter mais abrangente, existem outros, como regulamentos e normas, com informações técnicas mais específicas, para os diferentes domínios da construção, dirigidos ou aplicáveis a obras de reabilitação [4].

No domínio da térmica existiam três documentos: Regulamento das Características de Comportamento Térmico (RCCTE), o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização no Edifícios (RSECE) e o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) revogados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013.

O RCCTE determina requisitos de qualidade dos novos edifícios de habitação e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, através do controlo dos ganhos solares e estabelecendo limites de perdas térmicas. Este regulamento tem o objetivo de incrementar o conforto térmico e a qualidade do ar, delimita os consumos energéticos para climatização e produção de água quente sanitária, incentiva a aplicação de sistemas eficientes, determina a instalação de painéis solares e valoriza a utilização de fontes de energias renováveis.

O RSECE é direcionado para edifícios de habitação e serviços providos de sistemas de climatização. Tem como objetivos garantir a qualidade do ar e limitar os consumos energéticos, determina requisitos de eficiência e manutenção dos sistemas de climatização.

No ano de 2002 é publicada uma diretiva com o objetivo de potenciar o desempenho energético dos edifícios. Em resposta à Diretiva Europeia 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, é elaborada uma revisão dos regulamentos do domínio da térmica.

Com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto surgem alterações de exigências no âmbito da térmica, da energética e nas metodologias de cálculo do desempenho energético. Este DL visa “assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).” Desta forma, a legislação facilita o processo de interpretação compilando os três regulamentos num só documento [9].

O certificado SCE é um documento, de número único, que caracteriza o desempenho energético de um determinado edifício ou habitação. O certificado é elaborado por um perito qualificado no âmbito do Sistema de Certificação energética [9].

O REH define os requisitos, parâmetros e metodologias para caracterizar o desempenho energético de edifícios de habitação, sejam estes novos ou sujeitos a intervenções. O objetivo deste regulamento é melhorar o comportamento térmico, a eficiência dos sistemas técnicos e minimizar o risco de condensações na superfície dos elementos da envolvente [9].

O RECS define regras para o projeto, construção, alteração, operação, manutenção e para os sistemas técnicos. Este regulamento, define, ainda, requisitos para a caracterização do desempenho térmico dos edifícios, com o objetivo de incrementar a eficiência energética e a qualidade do ar interior, para os edifícios de comércio e serviços. [9]

O DL n.º 194/2015, de 14 de Setembro é a mais recente atualização do documento. Este apresenta alterações relativas ao desempenho energético dos edifícios e “estabelece um regime excecional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional”. [10]

A qualidade do ar interior é garantida pelas condições de ventilação. Existem determinadas regulamentações, como o RCCTE, que definem exigências relativas a condensações e à qualidade do ar interior, aspetos pertinentes tanto para a ventilação como para a higrotérmica. A norma portuguesa NP 1037 integra um conjunto de recomendações no domínio da ventilação e exaustão, apresentando uma parte específica dedicada à ventilação natural “NP 1037-1:2002 – Parte 1: Edifícios de habitação – ventilação natural”. Em relação à higrotérmica, existe uma norma americana, ASHRAE 160, que estabelece os critérios de um projeto de higrotérmica, contudo o seu uso não é de carácter obrigatório.

Com a falta de regulamentação, a problemática da ventilação fica a cargo da arquitetura, que deve conciliar o conforto térmico com as particularidades de um edifício antigo. Uma das preocupações a ter é a da estanqueidade ao ar da envolvente. Nos edifícios antigos, esta estanqueidade é fraca, proporcionando elevadas taxas de renovação de ar. No entanto, nas intervenções de reabilitação a estanqueidade ao ar é aumentada, devido a uma maior exigência do conforto térmico e uma maior preocupação com o consumo de energia. [11]

No âmbito da regulamentação da acústica existem dois documentos publicados: o DL nº 9/2007, designado “Regulamento Geral do Ruído” (RGR) e o DL nº 96/2008, designado “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios” (RRAE).

O RGR estabelece valores limites de exposição ao ruído, com o objetivo de prever e controlar a poluição sonora, defendendo a saúde e o bem-estar da população. [12]

O RRAE apresenta normas aplicáveis à construção, reconstrução, ampliação ou alteração de edifícios, dos diferentes tipos de utilização, com o objetivo de melhorar as condições de qualidade acústica dos edifícios. A aplicação das normas a obras de reabilitação não é explícita em nenhum dos documentos. No entanto, grandes intervenções poder-se-ão aproximar a reconstruções, e as intervenções de pequena dimensão poderão ser comparadas a obras de conservação, possibilitando a aplicação dos regulamentos às obras de reabilitação. Contudo, no caso dos edifícios antigos, objeto de reabilitação, não há qualquer especificação regulamentar que exija o cumprimento das condições acústicas, definidas pelo RRAE. É relevante referir que os edifícios antigos são anteriores à primeira publicação legislativa no âmbito da acústica, que data 1987. Pelo que, ao reabilitar um edifício, visando a preservação das suas características construtivas tradicionais, é provável que os valores limites do ruído não sejam cumpridos. Este problema poderá ser resolvido com intervenções no interior do edifício, desde que seja possível fazer alterações nos elementos construtivos primitivos. Nas fachadas, o problema é mais complexo, o valor histórico ou cultural do edifício pode restringir as possibilidades de intervenção, obrigando a manter o aspeto inicial, incluindo as caixilharias originais. [12]

Adaptar os documentos legislativos aos projetos de reabilitação é um desafio. Sendo a legislação idealizada para a construção nova, a sua adequabilidade à reabilitação gera discórdia e apresenta

incompatibilidades. Desta forma, deve-se tentar cumprir a regulamentação, mas de forma crítica, criteriosa e atenta, até que seja criada legislação específica para as obras de reabilitação de edifícios. [4]

## **2.3. METODOLOGIAS DE REABILITAÇÃO**

### **2.3.1. PATOLOGIAS MAIS FREQUENTES**

As anomalias construtivas podem ser abordadas de diversas formas. No âmbito deste trabalho, procurou-se uma forma genérica de referir as mais comuns. A dificuldade em classificar o tipo de anomalia está relacionada com o cruzamento dessas anomalias e causas respetivas.

As principais causas das patologias não estruturais podem ser divididas em 4 grupos: a humidade; a fissuração; o envelhecimento e degradação dos materiais; as exigências de segurança, conforto e económicas.

#### **2.3.1.1. HUMIDADE**

Há uma diversidade de formas de manifestação de anomalias devido à presença de Humidade. Através da observação visual e de ensaios *in-situ* ou em laboratório é possível identificar os distúrbios ocorridos. Conhecidos os sintomas, identifica-se a causa, dado essencial para definir a solução de reparação a adotar. Quanto às formas de manifestação de humidade podem-se definir 6 grupos:

- Humidade de construção,
- Humidade proveniente do solo,
- Humidade de precipitação,
- Humidade de condensação,
- Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade,
- Humidade devida a causas fortuitas.

A humidade de construção está relacionada com a presença de água nos materiais de construção (Figura 1). A água é parte constituinte do betão, das argamassas e das alvenarias. No caso do betão e da argamassa, a água faz parte da sua constituição, nas alvenarias a água é utilizada para a colocação dos blocos. A água superficial, presente nestes materiais, rapidamente é evaporada. No entanto, o processo de evaporação da água presente nos poros é moroso, podendo demorar anos a atravessar o material e atingir a superfície. [13, 14]

A evaporação, da água presente nos materiais, pode provocar a expansão ou destaque das camadas de revestimento. Esta evaporação pode, ainda, provocar a ocorrência de condensações, devido à consequente diminuição da temperatura. A presença de um elevado teor de água num elemento, pode originar o aparecimento de manchas de humidade, independentemente da ocorrência de condensações. Contudo, ao avaliar casos de anomalias originadas por humidade de construção deve-se ter em atenção a idade do edificado, pois estas anomalias ocorrem nos primeiros anos da construção, com tendência a desaparecer ao longo do tempo. Desta forma, conclui-se que a humidade de construção não se verifica em edifícios antigos. [13, 14]



Figura 1 – Humidade de construção [15]

A presença de humidade no solo pode originar a ascensão da água através dos materiais de construção de elevada capilaridade, este fenómeno denomina-se humidade ascensional ou humidade de terreno. A migração da água através de uma parede depende das características da mesma. Depende do diâmetro e do número de poros dos materiais constituintes; do volume de água em contacto com a parede e do teor de água evaporada, que deverá compensar a absorvida pelo solo. A espessura da parede, a orientação e a época em que foi construída determinam a altura atingida pela água. Quanto maior a espessura da parede, maior será a altura atingida pela água, uma vez que será necessária uma maior superfície para que ocorra a evaporação da humidade absorvida. O movimento da água na parede realiza o transporte de sais presentes no terreno e nos materiais constituintes. Quando esta água atinge a superfície ocorrem dois fenómenos, a evaporação da água e a cristalização dos sais. Quando a cristalização ocorre à superfície, denomina-se eflorescências, quando ocorre no interior da parede, denomina-se criptoflorescências.

A ocorrência de uma evaporação não permanente provoca a erosão do revestimento, pois a cristalização dos sais reflete-se num aumento do volume, que conduz ao destacamento do mesmo. As anomalias associadas a variações do nível freático ou presença de águas superficiais (Figura 2) são caracterizadas pela presença de manchas de humidade, acompanhadas por áreas de maior degradação e erosão, possível desenvolvimento de eflorescências, criptoflorescências, bolores e vegetação parasitária. Dado o carácter ascensional do movimento da água, o teor de humidade de uma parede é máximo na base e diminui com a altura da parede. [13, 14, 16]

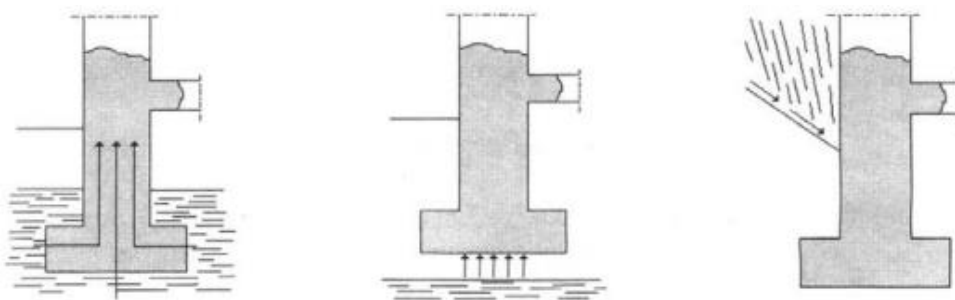


Figura 2 – Humidificação da parede por águas freáticas (esquerda – fundação abaixo do nível freático; centro – nível freático abaixo da fundação) ou superficiais (direita) [16]

A precipitação, simultaneamente com a ação do vento, provoca o humedecimento da parede onde a chuva incide. A água da chuva consegue penetrar diretamente na parede, através de fissuras ou zonas menos impermeáveis à água. No caso de precipitação contínua e de longa duração, a água escorre pela

superfície podendo atravessar a parede. Uma parede devidamente concebida não permite que a água atinja as camadas interiores, mas erros construtivos e fissuras são frequentes, facilitando a penetração da água, contribuindo para o aparecimento de anomalias. Quando consequência de períodos de precipitação, estas anomalias expressam-se por meio de manchas de humidade, que acabam por desaparecer com a chuva. Para além das manchas é comum o desenvolvimento de eflorescências, criptoflorescências e bolores. Nestas anomalias, consequência da precipitação, verifica-se um aumento do teor de humidade do interior para o exterior da parede, ao longo da sua espessura. [13]

As anomalias provocadas por condensações superficiais manifestam-se quando ocorre o arrefecimento de uma massa de ar interior, atingindo-se o limite de saturação para uma dada temperatura. Quando a temperatura superficial das paredes é inferior à temperatura do ar interior, dá-se um incremento da humidade relativa da camada de ar intermédia, que pode fomentar o desenvolvimento de condensações. Desta forma, torna-se evidente que um eficaz isolamento térmico é essencial para prevenir o risco de condensações superficiais. Para além de um isolamento adequado, é importante garantir boas condições de ventilação e um aumento da temperatura do ar interior, nomeadamente durante o Inverno. As anomalias devido a condensações superficiais manifestam-se em zonas de menor ou deficiente isolamento térmico e locais de insuficiente ou inexistente ventilação. Associadas a estas manifestações está, habitualmente, o aparecimento de bolores, pois facilmente se reúnem as condições necessárias ao seu desenvolvimento. [13]



Figura 3 – Condensações superficiais [15]

A ocorrência de condensações internas depende do isolamento térmico e da permeabilidade ao vapor de água dos materiais que constituem a parede. Este fenómeno verifica-se sempre que a pressão parcial do vapor, que atravessa a parede por difusão, iguala a pressão de saturação, num dado ponto e a uma determinada temperatura. Este tipo de condensações poderá provocar o apodrecimento de materiais orgânicos, o destaque de materiais e despoletar a ocorrência de condensações superficiais. No entanto, as manifestações devido a condensações interiores não são, no geral, identificáveis a olho nu. [13]

Tal como nos solos, também nos materiais constituintes das paredes encontram-se sais solúveis em água. Com o incremento do teor de água na parede, os sais dissolvem-se e atingem a superfície dando origem a eflorescências ou criptoflorescências. As variações das condições ambientais (de temperatura e humidade relativa) propiciam ciclos de dissolução-cristalização dos sais, que provocam a degradação da parede. Na causa deste tipo de anomalias estão fenómenos de higroscopicidade. As anomalias são assinaladas pelo aparecimento de manchas de humidade e eventuais degradações do material de revestimento. Podem ocorrer em qualquer época do ano, uma vez que a degradação não é provocada pelos valores extremos de humidade relativa, mas pelos ciclos de dissolução-cristalização. [13]

As anomalias com origem em acontecimentos fortuitos são de ocorrência esporádica, ou seja, sem reincidências em outras zonas do edificado. As infiltrações por causas fortuitas são consequência de

defeitos construtivos, falhas de equipamentos, lapsos humanos como acidentes ou manutenção insuficiente. [13]



Figura 4 – Anomalia de causa fortuita: deficiente aplicação do tubo de queda [15]

#### 2.3.1.2. FISSURAÇÃO

As fissuras, de origem não estrutural, ocorrem sobretudo no suporte e/ou revestimento das paredes interiores e exteriores, e nos revestimentos dos tetos, pisos e coberturas. A causa da fissuração está muitas vezes relacionada com erros de conceção ou projeto, erros de execução ou de utilização, incorreta interpretação do projeto, má qualidade ou incompatibilidade dos materiais, mão-de-obra não qualificada.

Na fase de utilização, a alteração do tipo de utilização ou a utilização desadequada, eventuais remodelações e alterações mal concebidas, aplicação de técnicas e materiais incompatíveis com os originais, são causas prováveis no aparecimento de fissuras. É relevante referir que, na construção tradicional, as paredes divisórias para além da sua principal função de divisão dos compartimentos, podem também desempenhar importantes funções estruturais. As fissuras desenvolvidas em revestimentos podem estar relacionadas com fissuras da própria parede. Mas a fissuração pode ocorrer apenas no reboco, sendo que a sua causa mais provável será a retração das argamassas ou variações termo-higrotérmicas. [3, 17, 18]

O desenvolvimento das fissuras pode estar relacionado com ações naturais, de origem física, química ou biológica. As paredes exteriores estão, particularmente, sujeitas à ação dos agentes climáticos como abrasão provocada por areias e poeiras transportadas pelo vento, humidade, precipitação intensa e variações de temperatura. A presença de sais ou água, o desenvolvimento de reações químicas como carbonatação ou oxidação, ou mesmo a exposição à radiação solar, são ações que podem provocar a fissuração da parede. Quanto aos agentes biológicos, poderão ser de origem vegetal ou animal. A ação das raízes, trepadeiras, líquenes, bolores ou fungos, assim como, o comportamento de determinados animais, como os vermes, insetos, roedores ou pássaros, podem originar o aparecimento de fissuras. [19]

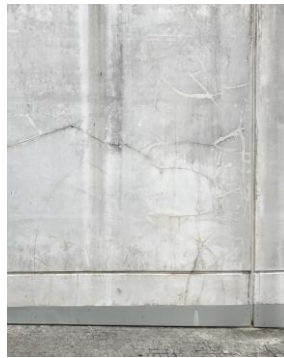


Figura 5 – Exemplo de fissuração

Por último, a fissuração poderá ser provocada por desastres, que poderão ser de causa natural, como sismos e terremotos, cheias ou tempestades. A forma como o homem utiliza o edifício determina o seu estado de conservação, pelo que ações mecânicas ou choques acidentais num pavimento, parede ou escadas podem provocar o desgaste dos elementos, e o desenvolvimento de fissuras. [3, 4, 18]

#### 2.3.1.3. ENVELHECIMENTO E DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS

A principal causa de anomalias em edifícios antigos é o natural envelhecimento dos materiais. Os edifícios são concebidos para um determinado período de utilização, para uma vida útil, sendo que ao longo dos anos os materiais vão, naturalmente, envelhecendo.

Com o passar dos anos os materiais envelhecem e deixam de se comportar da mesma forma, deixando, muitas vezes, de desempenhar a função para a qual foram destinados. A degradação provocada pelo envelhecimento dos materiais é agravada pelos agentes externos, sejam estes de origem química, física ou biológica. Desta forma, os edifícios carecem de operações de manutenção para aumentar a sua durabilidade. Considerando que na maioria dos casos as operações de manutenção são insuficientes e/ou deficientes operações de manutenção, o envelhecimento é a principal causa de degradação (Figura 6). [3, 4]

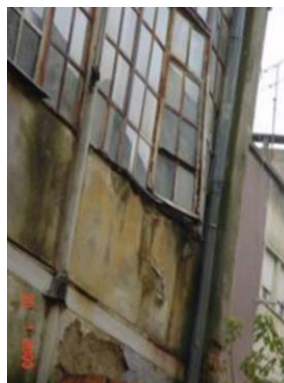


Figura 6 – Envelhecimento e degradação do edifício [15]



#### 2.3.1.4. EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA, CONFORTO E ECONÓMICAS

As anomalias estão frequentemente relacionadas com a desadaptação das características dos elementos construtivos ou materiais às atuais exigências de segurança, conforto ou economia.

No caso das paredes, as anomalias estão frequentemente associadas à desadequação das suas características às atuais exigências. De uma forma geral, o isolamento térmico e acústico é inexistente ou insuficiente, dada a leveza e fina espessura da parede, e, nas paredes realizadas em madeira, não são garantidas as exigências de resistência e reação ao fogo.

Na maioria dos casos, as redes de água, de eletricidade e de gás de edifícios antigos, também, não cumprem com as exigências e requisitos atuais. [3, 17]

#### 2.3.2. DIAGNÓSTICO

Como referido anteriormente, o estudo de diagnóstico é uma das fases do projeto de reabilitação. O diagnóstico deve ser adaptado a cada caso, adequando-o ao edifício, materiais que o constituem e patologias presentes. Esta análise permitirá um conhecimento profundo do estado atual e proporcionará uma boa base de trabalho para a proposta de intervenção. [4]

O diagnóstico deve ser elaborado por um técnico capaz de observar e analisar o edifício de forma holística. Deve ter uma boa capacidade de observação visual, mas não só, deverá utilizar os cinco sentidos e ainda, técnicas e instrumentos que deverão ser escolhidos de acordo com o elemento em análise. Deverá ter o conhecimento e experiência necessários para uma correta utilização e escolha das técnicas construtivas; efetuar uma perspicaz avaliação dos materiais, do seu comportamento e da forma de execução. E, ainda, capacidade de interpretação e de correlação de todos os dados. [20]

Para efetuar um diagnóstico é necessário conhecer os elementos construtivos e materiais em análise. Através de sondagens e medições *in situ* e em laboratórios, é possível avaliar quantitativamente e qualitativamente os materiais, a sua qualidade, o seu estado de conservação e eventuais patologias. Existem metodologias destrutivas, como as sondagens, ou não destrutivas, realizadas *in-situ*. Há uma escolha preferencial pelas tecnologias não destrutivas, uma vez que, as destrutivas implicam recolha de amostra, e conseqüentemente a uma parcial destruição do elemento em análise; ou eventuais métodos minimamente destrutivos, que possam ser realizados no local, com pequenas quantidades e aproveitamento de material já degradado. [21]

O estudo de diagnóstico consiste na determinação das causas das patologias, através da análise das suas manifestações e conseqüências. Este é um processo complexo pela diversidade de efeitos e causas existentes, assim como pela dificuldade em atribuir uma relação entre os mesmos. [19]

Realça-se que os métodos de seguida expostos serão de avaliação não estrutural, uma vez que este trabalho incide sob a reabilitação não estrutural de um edifício antigo. As principais causas de patologias não estruturais são a ação da água, o envelhecimento e degradação dos materiais, e a inadequação das exigências funcionais. [19]

Não há dúvida de que o método de diagnóstico primordial é a inspeção visual. Contudo os métodos de ensaio *in-situ* revelam-se fundamentais para uma avaliação mais detalhada das anomalias e para melhor compreensão dos mecanismos de degradação. Para escolher o método a utilizar é fundamental saber qual a informação pretendida e ter o conhecimento e o equipamento necessário para realizar a técnica, pois a escolha desta será decisiva para os orçamentos e prazos da obra. [22]

A termografia de infravermelhos permite determinar a temperatura superficial dos objetos, através da avaliação das radiações emitidas nas superfícies em análise. A radiação infravermelha é captada por detetores e convertida em sinais elétricos. Os resultados são apresentados numa imagem térmica, denominada termograma. Os termogramas apresentam a distribuição de temperaturas superficiais do elemento em estudo, em que cada cor corresponde a um intervalo de temperaturas. Esta ferramenta (Figura 7) torna-se importante na compreensão dos fenómenos patológicos, uma vez que a solicitação ou variação de temperatura é um fator decisivo no desenvolvimento de anomalias. [23]

Através da termografia é possível localizar pontos singulares nos elementos construtivos, detetar água no interior de um elemento e reconhecer zonas de menor resistência térmica, que revelam uma diminuição do isolamento ou a presença de pontes térmicas. [24]

A termografia revela-se uma ferramenta útil para o estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios e materiais, mas requer perspicácia e conhecimento por parte do técnico, para que saiba identificar os diversos parâmetros que podem influenciar os ensaios. É uma metodologia de ensaio não destrutiva, que permite uma análise qualitativa dos resultados rápida e de fácil interpretação, através da observação das imagens térmicas. Ou uma análise quantitativa, que apesar de ser mais demorada e de considerar outros parâmetros, permite uma avaliação com maior detalhe. É necessário ter especial cuidado com os parâmetros que podem distorcer a temperatura superficial, alterando os resultados, como as variações de pressão, velocidade do ar, zonas de aquecimento ou arrefecimento, reflexão e emissividade dos materiais. [25]



Figura 7 – Câmara termográfica Luke TI450 [15]

Existem diversos ensaios laboratoriais para caracterizar as paredes e avaliar o seu comportamento higrotérmico como, determinação da massa volúmica aparente; determinação da porosidade; determinação da permeabilidade ao vapor de água, caracterização da absorção ou capilaridade dos materiais; determinação das propriedades térmicas (como coeficiente de transmissão térmica, condutibilidade térmica). [25]

O humidímetro (Figura 8) é uma das técnicas *in-situ* para avaliar o estado de conservação das paredes e identificar e compreender as anomalias consequentes da presença de humidade. Este equipamento permite determinar o grau de humedecimento de uma parede, possibilitando uma análise da resistência à humidade, em elementos onde ocorrem infiltrações, humidade capilar ou manchas. As medições com o humidímetro realizam-se em vários pontos do elemento com o objetivo de encontrar o local de origem da água (cobertura, solo, outros); em diferentes épocas do ano para que se compreenda se a água é consequência da precipitação ou de outra fonte. O aparelho tem dois elétrodos na extremidade que determinam as variações de resistência elétrica. Esta resistência varia com a humidade, sendo que a condutibilidade elétrica aumenta com o teor de água. [22, 25]



Figura 8 – Humidímetro [26]

O tipo e teor de sais presentes num elemento podem ser parâmetros determinantes para compreender a origem da água e a atividade da respetiva fonte ou para verificar as condições dos materiais. A presença de sais pode ser avaliada recorrendo a um kit de campo ou fitas colorimétricas (Figura 9). Estas técnicas, realizadas *in-situ*, permitem obter resultados qualitativos com uma certa rapidez e credibilidade. [22, 27]



Figura 9 – Marcadores de sais [26]

O ensaio de aderência por tração, *pull-off*, permite obter, *in-situ*, a tensão de aderência, determinando a resistência do reboco ou revestimento ao arrancamento. Esta metodologia permite avaliar a aderência entre as camadas, determinando quais as camadas com problemas ou averiguando se os materiais estão em boas condições. O ensaio com o esclerómetro permite avaliar, *in-situ*, propriedades mecânicas do elemento construtivo em análise. O aparelho permite medir, *in-situ*, a resistência à compressão. Estas metodologias permitem uma avaliação da resistência da superfície da parede, contribuindo para uma análise de anomalias como fissuração e pulverulência, que conduzem a fenómenos como destacamentos ou perdas de coesão. [22, 25, 28]



Figura 10 – Esclerómetro [26]

A técnica de ultrassons é um método não-destrutivo, que permite identificar zonas de degradação como fissuras, destacamentos, perdas de coesão e estimar o estado de degradação e as alterações do material ao longo do tempo. [25] Um sinal elétrico é transformado num impulso ultrassónico, que ao encontrar uma descontinuidade ou defeito no elemento em análise, altera a velocidade de propagação da onda, que tende a aumentar, permitindo determinar a profundidade das fissuras com algum rigor. [29]



Figura 11 – Ultrassons [26]

Os ensaios com tubos de Karsten permitem avaliar a permeabilidade do material à água, a baixa pressão. Esta permeabilidade é avaliada de acordo com a quantidade de água absorvida pela superfície do material, num determinado período de tempo. A partir dos resultados obtidos é possível fazer uma apreciação qualitativa do estado do reboco. Não é um método corrente, nem o mais preciso, uma vez que se consegue avaliar o comportamento da parede em análise, mas não se consegue precisar se a água é absorvida pelo revestimento, juntas, tijolo ou pedra. Com este método é possível estudar elementos com patologias devido à humidade. [25]



Figura 12 - Tubos de Karsten [26]

Equipamentos como o termómetro e o higrómetro são utilizados para medir as condições climáticas no interior (temperatura e humidade relativa/teor de humidade). [22]

Através da implantação de estações específicas, é possível avaliar e controlar os parâmetros e os contaminadores atmosféricos. Os parâmetros climáticos que podem ser avaliados são a temperatura, a humidade relativa, a radiação solar, velocidade e direção do vento, a precipitação ou chuva incidente e pressão atmosférica a que a fachada está sujeita, também podem ser identificados os principais agentes poluentes aos quais está exposto o edifício. Esta avaliação requer um processo contínuo e de longa duração, que poderá ser de meses ou anos, para chegar a conclusões fidedignas. [21]

Para estudar a composição das argamassas pode-se recorrer a análises calcimétricas. Esta técnica consiste na dissolução da amostra de argamassa em ácido clorídrico. O ensaio é realizado com diferentes concentrações e temperaturas. Para cada variação do ensaio é medido o teor dos óxidos de cálcio, magnésio, alumínio e ferro; o teor de sílica; a quantidade de gás carbónico; a quantidade de água de constituição, a quantidade de água perdida por absorção; e, também, a quantidade de eventuais substâncias orgânicas. Este método, minimamente destrutivo, pode ser associado a análises estequiométricas, através das quais se determina o teor de carbonato de cálcio. [21]

A endoscopia permite um levantamento de imagens em locais de difícil acesso como pequenas cavidades, fendas, fissuras, tubagens e canais. Este equipamento é composto por um tubo fino, rígido ou flexível, que tem uma câmara numa das extremidades. Esta câmara, de pequeno porte, pode ser de vídeo telecomandado ou uma máquina fotográfica com um sistema de fibra ótica, e um aparelho de iluminação associado. [21, 29]

Para acompanhar o desenvolvimento das fissuras há diferentes técnicas, desde testemunhos a equipamentos mais sofisticados. Os principais aspetos a observar e registar são: a forma, largura, direção e localização da fissura, e presença da mesma anomalia no elemento construtivo, no edifício e até em edifícios próximos. Os testemunhos podem ser rígidos de gesso (ou uma mistura de gesso, cal e cimento), de vidro ou de papel, que partem com o deslocamento da fissura. Os testemunhos de gesso permitem observar a direção e amplitude do deslocamento, os de vidro são frágeis e de difícil avaliação e os de papel apenas são apropriados para movimentos de maior dimensão.

Apesar do rigor ser limitado, é possível observar a fissura através de uma luneta e régua de ranhuras graduadas, ou utilizando um fissurómetro. Os extensómetros, constituídos por duas peças rígidas graduadas, que deslizam uma sobre a outra, aquando o movimento da fissura, permitem medir afastamentos entre duas zonas distintas. Existem extensómetros mecânicos, de metal, vidro e plástico, e extensómetros elétricos, que possibilitam um registo automático e periódico dos deslocamentos. Os dispositivos de maior precisão são os dilatómetros, que determinam a distância entre dois testemunhos metálicos, e os paquímetros (digitais ou mecânicos) que medem o progresso da fissura, através de uma base fixa à parede com parafusos. [19]

### 2.3.3. INTERVENÇÃO

#### 2.3.3.1. TIPOS DE INTERVENÇÃO

A conservação tem como objetivo aumentar a vida útil de um edifício, através de medidas de prevenção e proteção contra: a degradação, e possíveis danos ou acidentes. Inclui as ações de manutenção que garantem um bom funcionamento de todas as partes constituintes do edifício.

A manutenção compreende todas as ações de rotina indispensáveis ao bom funcionamento do edifício, de todos os seus elementos, de todas as suas instalações e equipamentos. Estas operações retardam a degradação do edifício, contribuindo para que continue a desempenhar corretamente as suas funções e para que mantenha o seu aspeto inicial.

Restaurar é restabelecer o estado original de um edifício que pode estar degradado, danificado ou até em ruína. As ações de restauro pretendem recuperar a imagem, o ambiente, a arquitetura e história do edifício, viajando até uma época. Para isso é fundamental um conhecimento profundo das técnicas do passado e capacidade de as adaptar ao presente, exigindo um estudo das possíveis soluções de intervenção e decisão pela solução mais adequada.

A reabilitação urbana é uma intervenção física e social que pretende requalificar uma cidade ou parque edificado. Pretende melhorar a qualidade de vida das populações, criando melhores condições físicas, de funcionalidade, equipamentos, instalações, mas também socioeconómicas e ambientais. A reabilitação de um edifício pretende preservá-lo e torná-lo eficiente e funcional para o futuro, de acordo com a sua estrutura e tipologia. É um processo de reparações, alterações e amplificações, mas não de demolição nem de simples manutenção, apesar de se manter as características gerais do edifício.

As ações de reparação retificam os danos, defeitos, deficiências, ou degradações existentes. Através da substituição ou conserto dos materiais ou elementos, devolvem ao edifício a sua aparência original. Deve corrigir os defeitos do elemento e restaurar todas as suas características originais, desde físicas, mecânicas, funcionais, aparência e durabilidade, garantindo a menor intrusão possível.

Ações de alteração visam modificar a aparência ou função de um edifício, parte ou elemento deste. A conversão refere-se especificamente às ações de transformação do edifício necessárias para alterar a sua função. [30, 31]

#### 2.3.3.2. REABILITAÇÃO DE REVESTIMENTOS

Na reabilitação dos revestimentos devem-se priorizar as ações de preservação e reparação, respeitando as características e funcionalidades da parede. O ideal é manter os revestimentos originais, procedendo, apenas, a reparações. No entanto, nem sempre é possível, tornando-se necessário substituir o revestimento original por um com características semelhantes. A reparação exige mão-de-obra especializada, como conservadores e restauradores, que dominem as técnicas do passado. Esta solução é a melhor opção ao nível técnico e funcional, e apesar do trabalho moroso e dos custos elevados, pode não ser a pior solução do ponto de vista económico.

No caso de substituição por um revestimento novo, a dificuldade está em encontrar uma solução de características idênticas às do revestimento antigo. A solução nova deve permitir um comportamento semelhante na presença de água, teor de sais, capacidade de deformação e ao nível da durabilidade. Como os revestimentos exteriores antigos eram constituídos apenas por cal aérea e areia, devemos encontrar uma alternativa com constituição semelhante que garanta um comportamento à água e ao vapor de água idêntico. Não devem ser aplicados produtos de elevada impermeabilidade, como os hidrófugos e os sintéticos; nem os rebocos de cimento, que para além de serem pouco permeáveis ao vapor, têm uma capacidade de deformação diminuta e contêm sais na sua composição (correndo o risco de contaminação de toda a parede). Desta forma, os mais indicados serão os rebocos à base de cal aérea, sem hidrófugos.

Em relação à pintura, só as tintas minerais (tintas de cal ou silicatos) apresentam resultados satisfatórios. As tintas sintéticas ou do tipo membrana não são compatíveis com o comportamento das paredes antigas. [32]

#### 2.3.3.3. REABILITAÇÃO DE CAIXILHARIA

As caixilharias determinam a entrada de luz natural num edifício, pelo que a sua presença e distribuição são decisivas no desenho da fachada. As intervenções nestes elementos devem obedecer a exigências técnicas, históricas, culturais, sociais, arquitetónicas e tipológicas.

Para a reabilitação das caixilharias há duas opções possíveis: restauro da existente ou substituição da caixilharia por uma nova. A primeira opção de intervenção a considerar deverá ser a de restauro. Esta solução pressupõe a utilização de técnicas e materiais tradicionais para reabilitar a caixilharia existente,

conferindo-lhe o seu aspeto original. Esta deverá ser a solução a optar, particularmente, em edifícios de valor histórico ou monumental, com caixilharias de origem ou com detalhes preciosos. Esta solução exige artesãos habilitados, conduzindo a custos elevados. Contudo, o restauro da caixilharia não garante desempenhos térmicos e acústicos próximos dos desempenhos das caixilharias atuais.

Através das caixilharias antigas, ou desenhos das mesmas, é possível restaurar utilizando técnicas e materiais modernos, tornando possível conservar o aspeto original, melhorando os desempenhos. Esta opção torna-se menos dispendiosa, pois, apesar de respeitar a arquitetura original, permite a aplicação de práticas da construção da atualidade. Para melhorar as condições de desempenho, há a possibilidade de introduzir uma segunda caixilharia classificada, pelo interior. O que permite um melhor isolamento, sem que haja alterações de estética na fachada do edifício.

Optando pela substituição integral da caixilharia existem três opções: aplicação de uma nova caixilharia com desenho de reinterpretação do original (deve haver um conhecimento detalhado da caixilharia tradicional, dos seus elementos, materiais e técnicas), aplicação de uma caixilharia com um desenho de autor ou de uma caixilharia classificada, que satisfaça as exigências de pretendidas. [33]

#### **2.3.3.4. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS**

A principal função da cobertura é garantir a estanqueidade à água, protegendo o interior do edifício dos agentes exteriores. As principais preocupações a ter na reabilitação de uma cobertura, para além da estanqueidade à água, são um melhor desempenho acústico e térmico, e garantir a ventilação do desvão.

Na reabilitação de coberturas de edifícios antigos deve-se privilegiar a reparação da estrutura e da telha, mantendo a sua identidade. Sempre que possível, deve-se proceder ao restauro de todos os elementos, substituindo apenas, pontualmente, as telhas com um grau de degradação que não permita a sua reutilização, por telhas iguais às existentes. Para garantir a impermeabilização da cobertura pode-se colocar um revestimento em chapa ondulada, sob a telha, ou, colocar uma membrana de impermeabilização à água (mas permeável ao vapor de água). Deve-se ter especial atenção aos pontos frágeis, como remates de platibandas, de chaminés, de tubagens, remates e juntas entre edifícios contíguos, pois é na cobertura que ocorrem os principais problemas de infiltrações. Os sistemas de drenagem de águas pluviais fazem parte da cobertura, pelo que devem ser objeto de intervenção. A intervenção dependerá do estado de degradação dos elementos, podendo ser necessária a substituição parcial ou integral da rede.

#### **2.3.3.5. REABILITAÇÃO TÉRMICA E ACÚSTICA**

Os edifícios antigos não apresentam características de conforto térmico e acústico compatíveis com as atuais exigências.

Sendo Portugal uma país com um clima ameno e a noção de conforto térmico um conceito recente, os edifícios antigos não estão preparados para a necessidade de conservação de energia e de economia dos custos e consumos. A elevada espessura das paredes exteriores (dos edifícios antigos) gera um bom desempenho térmico no verão, contudo o conforto de inverno não é, normalmente, satisfatório, uma vez que os edifícios não dispõem de sistemas de aquecimento. Ao reabilitar os edifícios antigos, é oportuno dotá-los de sistemas de aquecimento, tentando equilibrar o conforto e os consumos de energia. Contudo, a resposta para as atuais exigências térmicas está nas possíveis intervenções na envolvente do edifício: paredes exteriores, caixilharias e cobertura, elementos através dos quais ocorrem as maiores perdas térmicas. Assim sendo, as características das paredes podem ser melhoradas através da aplicação de uma

camada de isolamento térmico pelo interior ou exterior da parede. Ambas as opções têm vantagens e desvantagens e deverão ser analisadas para cada caso. Atuando ao nível da cobertura é possível reforçar o seu isolamento através da aplicação de isolamentos térmicos, garantindo, simultaneamente, uma ventilação satisfatória. Ao isolar e incrementar o conforto térmico, não se pode esquecer a importância de manter o edifício “respirável”.

Para melhorar as condições de acústica de um edifício antigo, é necessário diminuir a quantidade de ruído proveniente do exterior e do interior do próprio edifício. A melhoria do isolamento dos sons produzidos no exterior é, maioritariamente, solucionada através do reforço da estanqueidade ao som das caixilharias do edifício. Este problema pode ser resolvido através da implementação de uma caixilharia dupla, criação de sistemas de vedação ou aplicação de um vidro com maior espessura ou vidro duplo. A transmissão do som entre os compartimentos deve-se, sobretudo, à pequena espessura das paredes divisórias, pelo que a sua solução passará pelo reforço das mesmas, através da aplicação de uma ou duas paredes suplementares (placa isolamento acústico), conforme os níveis de conforto exigidos. Estas soluções são eficazes do ponto de vista da acústica, mas poderão não ser viáveis pela redução do espaço interior inerente a estas intervenções e pelo aumento das cargas que atuam sobre os elementos estruturais.

No interior do edifício, pode ocorrer a propagação do som através dos pavimentos. Para solucionar este problema podem-se utilizar tapetes, solução prática e económica que isola os sons de percussão, ou executar pavimentos flutuantes ou tetos falsos. Pode-se ainda intervir ao nível das redes de abastecimento de água e saneamento. Para evitar a transmissão de ruídos incomodativos das canalizações há a possibilidade de atuar ainda na conceção das redes, escolhendo traçados favoráveis ao conforto acústico, optando por aparelhos sanitários pouco ruidosos, colocados estrategicamente ou isolando as condutas e acessórios. [3]



# 3

## CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO – CASO DE ESTUDO

### 3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo descreve as principais características do edifício em estudo, abordando a sua envolvente geográfica e histórica. Pretende, também, caracterizar o edifício e o seu estado de conservação.

O conteúdo apresentado ao logo deste capítulo constitui a base para o desenvolvimento do trabalho, elaboração do diagnóstico e, consequentes propostas de intervenção.

Neste sentido, procurou-se recolher o máximo de informação possível sobre a história, as funcionalidades, a data de construção e possíveis intervenções no edifício. Relativamente à construção e posteriores intervenções não há documentação que descreva as obras ou o edifício. Sabe-se, no entanto, que ocorreram obras de ampliação e reabilitação, mas sem qualquer registo. Algumas das informações conseguidas foram transmitidas oralmente, outras através do levantamento arquitetónico elaborado pelo gabinete Adalberto Dias Arquitecto LDA em 2008. Complementarmente a estas informações, realizaram-se diversas visitas ao edifício e levantamentos fotográficos, com o objetivo de caracterizar o edifício e as suas patologias. Como resultado desta recolha, é apresentado um mapeamento e uma listagem das principais patologias encontradas, assim como uma breve caracterização e registo fotográfico das mesmas.

### 3.2. LOCALIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

O Porto de Leixões (figura 13) situa-se no Norte de Portugal, entre Leça da Palmeira e Matosinhos, uma zona de grande densidade populacional e industrial. É o segundo maior porto artificial e um dos mais importantes do país. A infraestrutura compreende 5 Km de cais, 55 ha de terraplenos e 120 ha de área molhada. Possui boas acessibilidades marítimas e terrestres (rodoviárias e ferroviárias), permitido o transporte e manuseamento de diversas mercadorias, como produtos petrolíferos, granitos, têxteis, automóveis, madeiras, cereais, açúcares, ferro, aço, entre outros. [34]

A construção do Porto de Leixões é considerada a maior obra de engenharia nacional do século XIX, alicerce do desenvolvimento e do ordenamento territorial de Matosinhos. Deve o seu nome aos rochedos pré-existentes na foz do rio Leça, onde cresceu o porto de Leixões, que criavam um pequeno porto de abrigo natural e, posteriormente, constituíram a base para a construção dos molhes. O porto de Leixões cresceu como alternativa ao antigo porto do Douro.



Figura 13 – Porto de Leixões [35]

O Porto do Douro, situado na zona ribeirinha da cidade do Porto, não oferecia condições de segurança à navegação, várias eram as dificuldades e perigos no atravessamento da barra do Douro, surgindo a necessidade de melhorar as condições do porto do Douro. O trágico naufrágio em 1852 do Vapor “Porto” implora a necessidade de construção de um anteporto e treze anos mais tarde o plano de Manuel Afonso de Espregueira para o porto de Leixões possibilita a sua concretização.

É a 13 de Julho de 1884 que se inicia a construção do porto de Leixões, projeto do engenheiro português Nogueira Soares, com empreitada adjudicada à firma francesa Duparchy & Dauderny.

Os molhes assentes nos leixões (rochedos já existentes no local) foram construídos com granitos das pedreiras mais próximas, que determinou uma ligação de Custóias a Leixões, por uma linha férrea, e a construção de estaleiros e oficinas, em Matosinhos e Leça da Palmeira. Os guindastes a vapor, encomendados a oficinas francesas, movimentavam os enormes blocos de granito. Estes equipamentos, representados na figura 14, foram cruciais para a concretização da estrutura portuária. Numa fase inicial, o porto de Leixões funcionaria como porto de abrigo, um porto seguro por oposição à barra do Douro, que apesar de tudo continuava a ser o porto de destino. Dadas as potencialidades do porto de Leixões, a estrutura portuária do Douro caía em desuso, e muito antes da data de conclusão (1895), o porto de Leixões teria recebido milhares de embarcações.

Depois de várias tentativas, é criada em 1913 uma Instituição que se vai dedicar a gerir os portos, denominada Junta Autónoma das Instalações Marítimas do Porto (Douro-Leixões). O objetivo era criar um sistema portuário, em que os portos se complementassem, e desta forma garantir as obras de desenvolvimento do porto de Leixões, necessárias à transformação do porto de abrigo em porto comercial. Contudo, dado o contexto político e socioeconómico, consequência da Primeira Grande Guerra, não se reúnem as condições necessárias à concretização das obras de desenvolvimento do porto de Leixões. A ditadura e o período do Estado Novo contribuíram para um crescimento da realidade comercial do porto de Leixões, através da implementação de novas medidas propostas pela nova administração: APDL, Administração dos Portos do Douro e Leixões. Esta mudança permite a realização das obras indispensáveis às necessidades comerciais da época. Desta forma, já nos anos 30, torna-se possível a construção da Doca nº1. Nesta altura, edificam-se, também, armazéns de mercadorias, e melhoram-se as fundações do anteporto. [34-39]

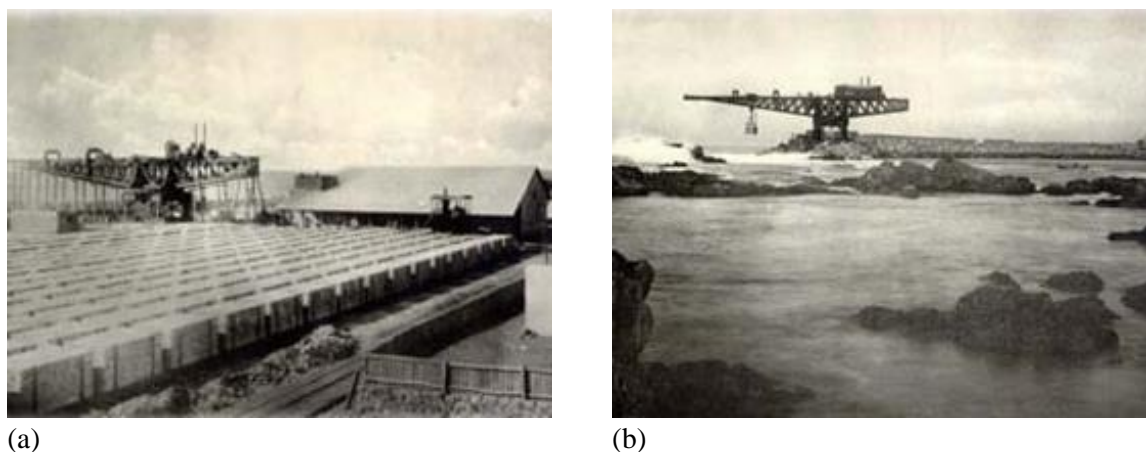


Figura 14- Construção do Porto de Leixões (1884-1892) (a) Molhe do Norte visto dos rochedos de Leixões  
(b) Estaleiro dos blocos artificiais do molhe Norte com o Titan em montagem. 1885. [35]

Apesar das visíveis melhorias, no período posterior à Segunda Guerra Mundial, o porto já não tem capacidade para o incremento do tráfego portuário a que se assiste. Em resposta a este incremento, efeito do pós-guerra, realiza-se em 1955 um projeto de ampliação, melhoram-se as ligações ferroviárias e estradas, atualizam-se as técnicas de gestão e de urbanística. Na década de 60, com a revolução tecnológica, houve a necessidade de adaptar e equipar o porto para as mudanças de mercadoria e transporte. A chegada dos contentores determinou a construção de um cais, na atual Doca nº1 Norte, que entrou em funcionamento para os receber e movimentar no início dos anos 80. E, posteriormente, no início dos anos 90, é inaugurada a Doca nº4, para o mesmo fim. Na década de 60, inaugura-se uma estação para passageiros e entra em funcionamento o terminal de petroleiros.

Como se observa no esquema da figura 15, o porto de Leixões foi crescendo, alastrando-se para o interior. Em resposta a este crescimento, nos anos 90, foi desenvolvido um Plano Geral de Ordenamento e Desenvolvimento permitindo uma reorganização e expansão dos serviços, melhoria dos recursos dos terminais, recuperação de edifícios e áreas interiores e investimento nas acessibilidades internas e externas. Foi na década de 90 que foi criada a doca para marina de recreio, um exemplo da procura em especializar as diferentes secções portuárias. [34-39]

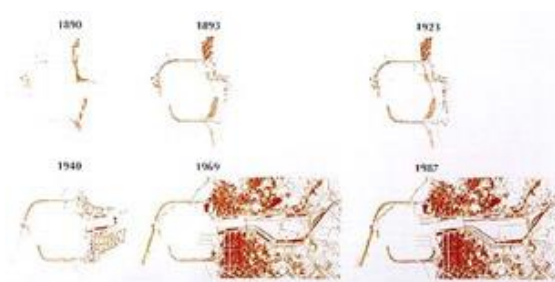


Figura 15 – Evolução esquemática do complexo portuário de Leixões [35]

Hoje, o porto de Leixões compreende diversas estruturas: os cais convencionais de carga geral e granéis sólidos (doca 1, doca 2, doca 4 norte), os cais de movimentação de granéis líquidos (doca 2 sul), 5 terminais – terminal de petroleiros, terminal de contentores, terminal Ro-Ro (Roll-on Roll-off), terminal

multiusos, terminal de cruzeiros – uma doca de recreio, um porto de pesca e, ainda, instalações especializadas (providas de silos, depósitos e armazéns).

Investimentos recentes permitiram a renovação e modernização dos equipamentos, tornando-os mais eficazes e ao ritmo das novas tecnologias. Assiste-se, em simultâneo, a uma preocupação da remodelação e reabilitação dos edifícios existentes, âmbito em que se desenvolve este trabalho. [34-39]

### **3.3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO**

O edifício em estudo, representado na figura 16, pertence à APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A.. A APDL, sediada na Avenida da Liberdade, em Leça da Palmeira, Matosinhos. A APDL “tem por objeto a administração dos portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo e da via navegável do rio Douro, visando a sua exploração económica, conservação e desenvolvimento, abrangendo o exercício das competências e prerrogativas de autoridade portuária que lhe estejam ou venham a estar cometidas.”. [34]

A APDL pretende reabilitar o edifício em questão para que lhe possa ser atribuído uma nova utilização. O espaço vai albergar os serviços de Sanidade internacional, os serviços da DGRM (Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos) e a sede do Centro Cultural Desportivo (CCD) da APDL.



Figura 16 – Edifício em estudo

O edifício em estudo, designado “Ex-DGT” (pois serviu de instalações para a Direção de Gestão do Território) faz parte de um conjunto de edifícios, das instalações da APDL, em Leça da Palmeira (figura 17). Foi adoçado a poente do primeiro armazém do Porto de Leixões, onde estavam instaladas as oficinas que davam apoio ao estaleiro de construção do molhe norte. É um edifício em alvenaria de pedra do início do século XX, que foi construído em continuidade com os elementos resistentes do armazém

contíguo. Em 2008, ocorreu uma intervenção no armazém, e foi efetuado um levantamento arquitetónico, já que não havia qualquer registo com informação.

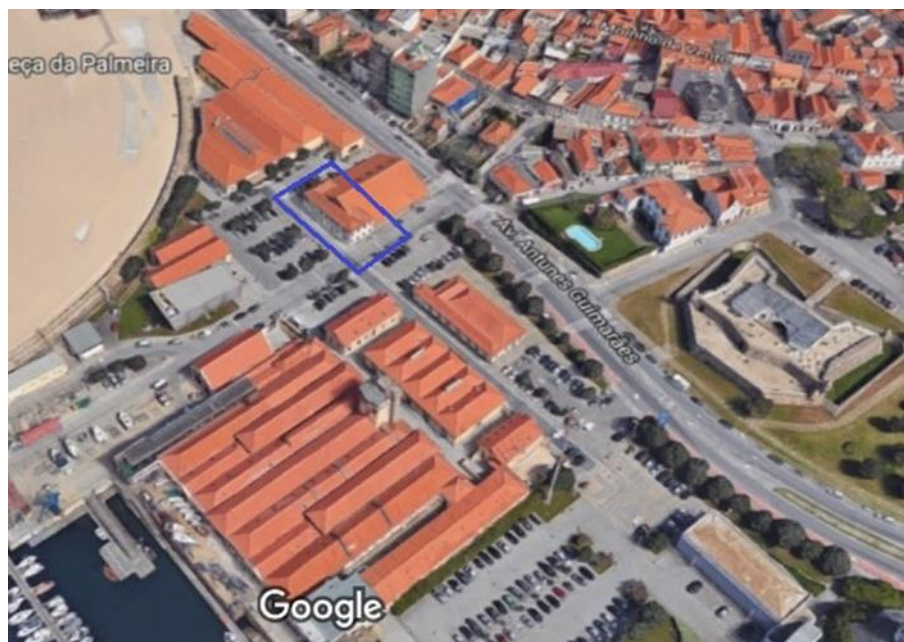


Figura 17 - Vista aérea do edifício em estudo (adaptado de [40])

O edifício tem dois pisos (r/c e primeiro andar) e é constituído por 17 compartimentos distribuídos pelos dois pisos.

O rés-do-chão é constituído por sete compartimentos: a<sub>0</sub>) átrio; b<sub>0</sub>) e e<sub>0</sub>) corredor; c<sub>0</sub>), d<sub>0</sub>), f<sub>0</sub>) e g<sub>0</sub>) gabinetes. Neste piso existe ainda um Posto de Transformação que serve parte da zona administrativa portuária.

O primeiro andar é composto por dez compartimentos: a<sub>1</sub>) átrio; b<sub>1</sub>) receção; c<sub>1</sub>), g<sub>1</sub>) e h<sub>1</sub>) gabinete; d<sub>1</sub>) instalações sanitárias; e<sub>1</sub>) e f<sub>1</sub>) arquivo; i<sub>1</sub>) sala de reunião; j<sub>1</sub>) zona de circulação.

O edifício, de planta retangular, tem três fachadas sendo o quarto elemento da envolvente contíguo ao armazém. A fachada principal é orientada a Poente e as outras duas fachadas a Norte e Sul. A altura total do edifício é de 6,50m acrescido das águas da cobertura em telha de altura medida na vertical de 1,80m. Os pés-direitos do edifício são de 2,90m em cada piso.

A área total do edifício é de cerca de 585m<sup>2</sup> divididos pelos dois pisos: o R/C com 307m<sup>2</sup> e o 1º andar com 278m<sup>2</sup>, conforme plantas representadas na Figura 18 e Figura 19.



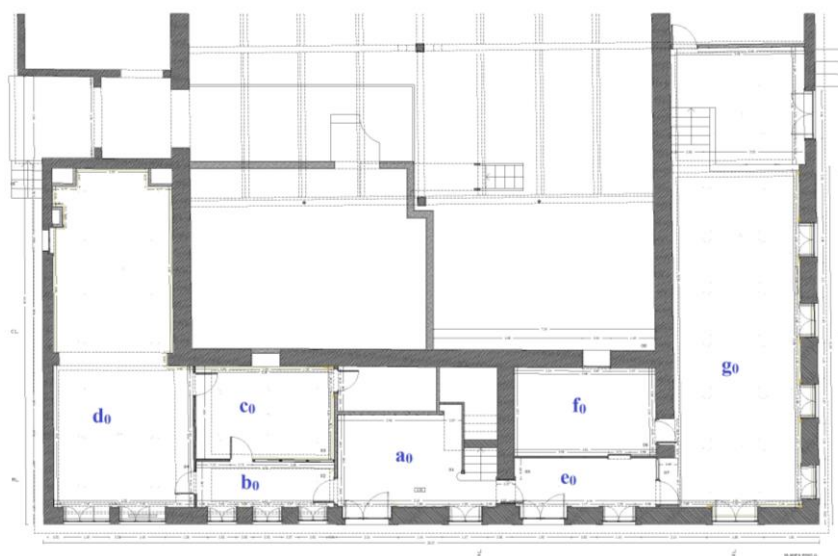


Figura 18 – Planta do piso 0

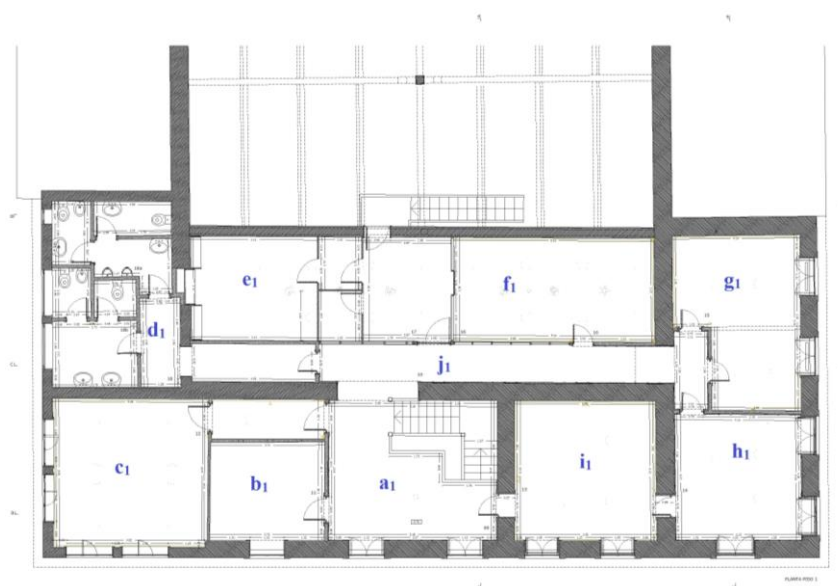


Figura 19 – Planta do piso 1

Os tetos são, na sua maioria, em estuque e teto falso estucado. O pavimento do 1º andar é constituído por soalho de madeira de pinho, que assenta em barrotes, e estes nas vigas de madeira de castanho. Exceção é o piso das instalações sanitárias em que o pavimento é constituído por mosaicos cerâmicos sobre laje maciça de betão armado. No R/C, os compartimentos a<sub>0</sub>, e<sub>0</sub> e f<sub>0</sub> têm pavimento em peças de mármore e os restantes com linóleo. Nas paredes da escada, do átrio e alguns compartimentos no piso 0 tem lambrim em madeira.

Os compartimentos correspondentes a c<sub>1</sub> (gabinete 5) e d<sub>1</sub> (instalações sanitárias) formam um corpo na lateral esquerda e são fruto de uma ampliação. Nesta parte do edifício, o piso é formado por uma laje maciça em betão armado. As escadas, em estrutura de madeira, fazem a ligação entre os dois pisos.

Nos compartimentos b<sub>0</sub>, c<sub>0</sub> e d<sub>0</sub>, o teto é falso de gesso cartonado, e o piso é revestido a linóleo. No átrio, o teto é em estuque, o piso feito em peças de mármore (40x40cm), com lambrim de madeira (1.44m) e rodapé de mármore (9,5cm). O teto do g<sub>0</sub> é em teto falso estucado com sancas.

A escada é em madeira, assim como o respetivo lambrim, também existente em todas as paredes do átrio e alguns compartimentos no piso 0.

As paredes exteriores são realizadas em granito. A dividir os compartimentos e<sub>0</sub> e f<sub>0</sub> existe uma parede divisória em madeira com vitral. O átrio a<sub>1</sub> encontra-se separado da receção b<sub>1</sub> por uma parede em tabique com 15mm de reboco e estanhado pintado a branco.

A cobertura tem estrutura em madeira (asnas, madres e varas) e telha cerâmica (marselha) assente sobre o ripado de madeira

### **3.4. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS**

Depois de várias visitas ao local, realizada a inspeção visual e o levantamento fotográfico, foi possível fazer uma listagem das patologias existentes e perceber a distribuição espacial das suas ocorrências. No edifício observam-se as seguintes patologias:

- Apodrecimento, degradação, fissuração das caixilharias de madeira;
- Corrosão de elementos metálicos;
- Degradação do soalho da madeira, devido à ação biológica;
- Manchas de humidade;
- Destacamento de tinta, estuque ou reboco;
- Empolamento da tinta;
- Colonização biológica;
- Sujidade;
- Degradação da cobertura;
- Degradação da rede de águas pluviais;
- Fissuração;
- Eflorescências.

Para se compreender a distribuição das patologias, as zonas mais afetadas e para que, posteriormente, se possam definir as causas, apresenta-se, na figura 20, um mapeamento das patologias observadas.

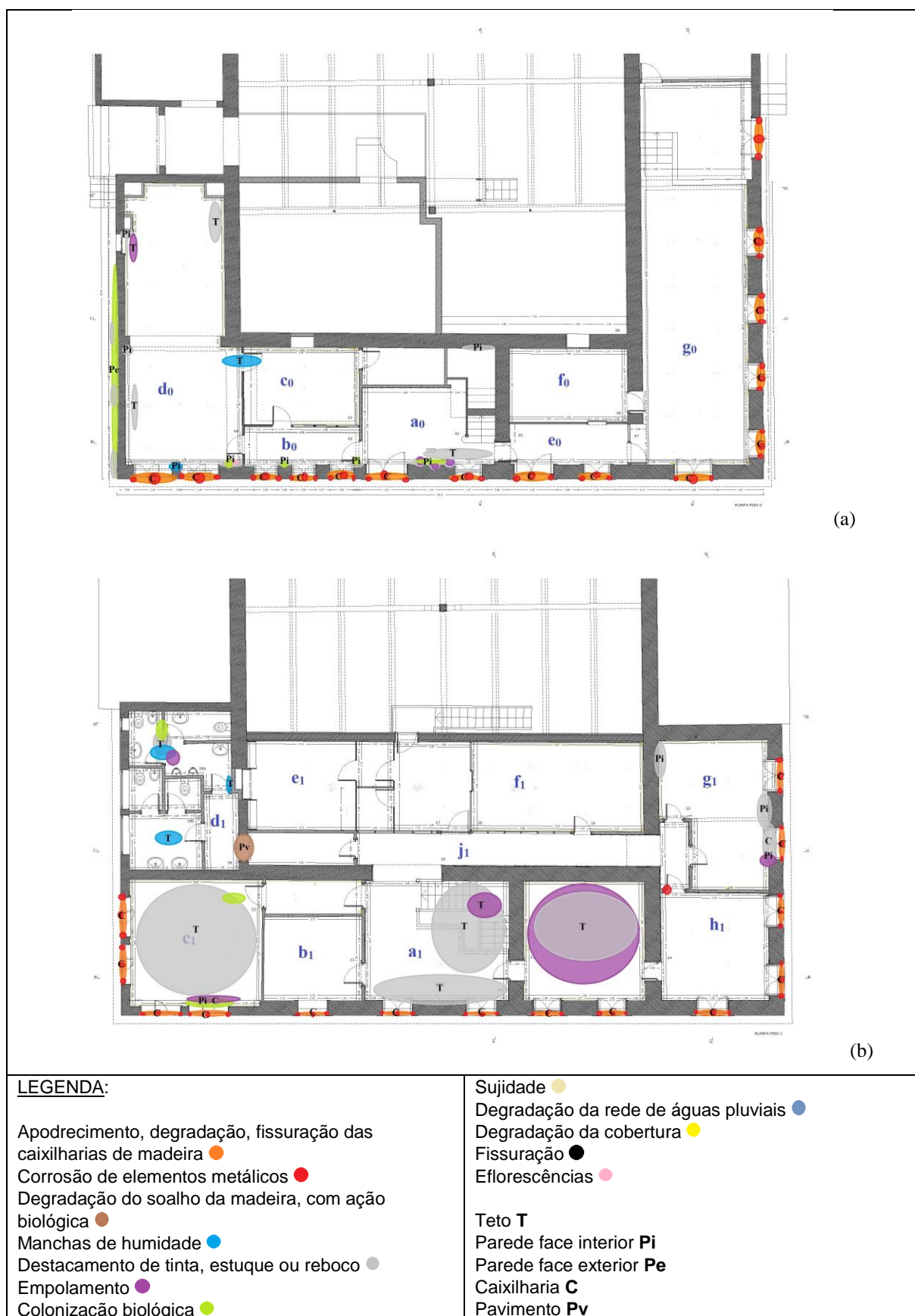


Figura 20 – Mapeamento das patologias (a) piso 0 (b) piso 1



A patologia mais frequente é o destacamento de tinta e reboco, que ocorre frequentemente, em simultâneo com outras patologias como o empolamento. As patologias ocorrem predominantemente no teto do piso 1, nas instalações sanitárias do mesmo piso e nas fachadas poente e norte.

A sujidade é generalizada, pelo que não é representada no alçado, ocorre sob todos os vãos do edifício, delineando escorrências sob o peitoril. A degradação da cobertura e da rede de águas pluviais é, também generalizada, pelo que não é representada no mapeamento destas duas patologias.

Como se observa no mapeamento das patologias (Figura 20) a degradação das caixilharias e da respetiva ferragem é uma manifestação geral, com ocorrência em todos os vãos do edifício.

O mapeamento das fissuras é apresentado na fachada principal (Figura 21), no entanto a distribuição desta patologia ocorre de forma semelhante em todas as fachadas do edifício. As fissuras desenvolvem-se a partir dos cantos dos peitoris, com desenvolvimento sobretudo na vertical.

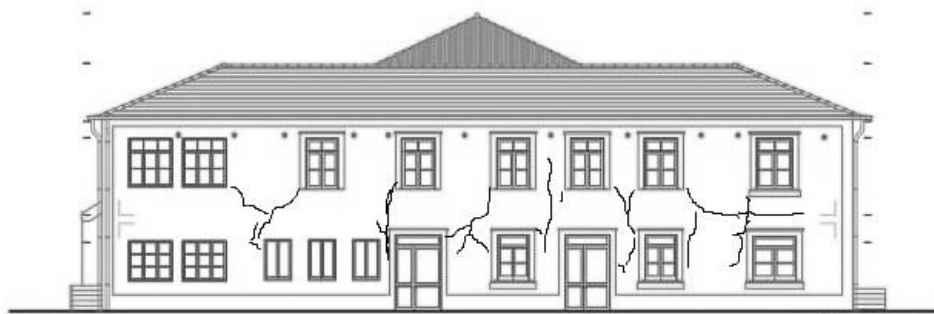


Figura 21 – mapeamento das fissuras – alçado principal

- Apodrecimento, degradação, fissuração das caixilharias de madeira

As caixilharias, na sua maioria, encontram-se num estado de degradação avançado. Na figura 22 é possível observar a degradação da pintura, do vedante e da própria madeira, com zonas apodrecidas, empenos; funcionamento deficiente, folgas e fragmentação dos peitoris. Consequentemente, a caixilharia perdeu o seu normal desempenho face às exigências funcionais de estanqueidade à água, isolamento térmico, acústico e de segurança. Os vidros, de fina espessura, encontram-se manchados e sem brilho.



(a)



(b)



(c)

Figura 22 – Exemplos de patologias nas caixilharias (a) caixilharia degradada, no exterior (b) caixilharia degradada no compartimento b<sub>0</sub> (c) pormenor de folga e fragmentação na caixilharia, no compartimento a<sub>1</sub>

- Corrosão de elementos metálicos

Como observado na figura 23, os elementos metálicos das caixilharias estão degradados, com sinais de corrosão. Os mecanismos de fecho e dobradiças encontram-se danificados, afetando o funcionamento das caixilharias, pelo que não permitem a normal articulação ou abertura.





Figura 23 – Exemplos de patologias em elementos metálicos (a) fecho de caixilharia, no R/C, compartimento b<sub>0</sub> (b) dobradiça de uma porta interior, no compartimento h<sub>1</sub>

- Degradação do soalho da madeira, por ação biológica

O soalho em pinho (Figura 24) para além do desgaste, apresenta degradação devido á ação da larva do bicho da madeira. Este ataque por agentes bióticos manifesta-se no 1º andar, no pavimento de transição do corredor (j<sub>1</sub>) com as instalações sanitárias (d<sub>1</sub>).



Figura 24 – Exemplo de patologias no soalho de madeira

- Manchas de humidade

No teto do piso 1 observam-se manchas de cor amarelada, nomeadamente nos compartimentos  $c_1$  e  $d_1$ , ilustrados na figura 25 (a) e (b), respetivamente. Na fotografia (b) as manchas surgem acompanhadas de outras manifestações anómalas como empolamento e desenvolvimento de bolores.



(a)



(b)

Figura 25 – Exemplos de manchas de humidade (a) manchas de humidade no teto dos compartimentos  $c_1$   
(b) manchas de humidade, e outras patologias, no teto do compartimento  $d_1$  (instalações sanitárias)



- Destacamento de tinta, estuque ou reboco

Na face interior de muitas paredes e em diversas zonas do teto do 1º piso pode observar-se o destacamento de tinta e/ou reboco, dependendo da zona e do grau de deterioração do elemento (figura 26). O destacamento de tinta observado na figura 26 (a) ocorre numa *courette*, localizada sob as instalações sanitárias do edifício. Na figura 26 (b) observa-se o destacamento do teto falso estucado e na figura 26 (d), o destacamento de estuque e tinta no teto, ambas em compartimentos do piso 1. A tinta está destacada sob os vãos do edifício, como se verifica na figura 26 (c), assim como, nas caixilharias de madeira, como se pode observar nos pormenores da figura 22.



(a)



(c)



(b)



(d)

Figura 26 – Exemplos de destacamento de tinta, estuque e reboco

- (a) destacamento de tinta, compartimento d<sub>0</sub> (b) destacamento de estuque e tinta do teto falso, compartimento c<sub>1</sub>  
 (c) destacamento de tinta, compartimento a<sub>0</sub> (d) destacamento de estuque e tinta no teto, compartimento a<sub>1</sub>

- Empolamento

O empolamento ocorre ao nível da pintura, e é caracterizado pela deformação convexa desta película. Esta manifestação é visível sob os vãos (figura 27 (a)), na face interior das paredes da fachada (figura 27 (b)), nos tetos das instalações sanitárias (figura 25 (b)). Ocorre, muitas vezes, associada a outras patologias, como desenvolvimento de bolores, destacamento de tinta e manchas de humidade.



(a)



(b)

Figura 27 – Exemplos de empolamento da tinta

(a) sob o vão da fachada, compartimento c<sub>1</sub> (b) na fachada principal, compartimento a<sub>1</sub>

- Colonização biológica

O desenvolvimento de fungos ocorre, frequentemente, associado a outras manifestações como manchas de humidade e destacamentos, conforme referido anteriormente. Esta patologia manifesta-se através de manchas de diferentes tonalidades, habitualmente pretas, castanhas ou verdes. Pode-se observar esta patologia em paredes interiores (Figura 28 (a)), paredes exteriores (Figura 28 (c)), nos peitoris (Figura 28 (b)) e teto do primeiro andar (Figura 25 (b)).



Figura 28 – Exemplos de colonização biológica (a) na fachada principal, compartimento b<sub>0</sub>  
(b) no peitoril, compartimento c<sub>1</sub> (c) na fachada norte

- Sujidade

As manchas de sujidade, também resultantes de escorrências da água da chuva, observam-se sob os peitoris de toda a fachada, como se verifica na figura 29 e na figura 31 (a).





Figura 29 – Exemplos de sujidade ao longo da fachada

- Degradação da cobertura

As manifestações observadas englobam a acumulação de lixos, colonização biológicas, descasque, fratura e deslocamento de telhas (Figura 30).



Figura 30 – Exemplo da cobertura degradada (adaptada de [40])



- Degradação da rede de águas pluviais

A tubagem da rede de águas pluviais está deformada em diferentes zonas (figura 31), impedindo o normal funcionamento da rede e o cumprimento dos requisitos de desempenho.



(a)



(b)

Figura 31 – Exemplos da degradação das tubagens (a) na fachada principal (b) na fachada sul

- Fissuração

Ao longo da fachada observam-se fissuras ao nível do revestimento, com origem nos cantos inferiores dos vãos do edifício, como exemplificado na figura 32 (a). A fissuração ocorre com distribuição regular, ao longo do pano exterior. No interior do edifício, observam-se fissuras sob o peitoril e parede adjacente, e consequente descascamento da tinta como exemplifica a figura 32 (b).



(a)



(b)

Figura 32 – Exemplos de fissuração (a) na fachada principal (b) no compartimento g<sub>1</sub>



- Eflorescências

Na figura 33 observa-se o depósito de sais à superfície. As eflorescências na Figura 33(a) ocorrem no revestimento da face interior da parede da fachada principal, junto ao pavimento. Na Figura 33 (b), também na face interior da parede da mesma fachada, verifica-se a presença de sais à superfície, eflorescências, e sob o revestimento, criptoeflorescências.



(a)



(b)

Figura 33 – Exemplos de eflorescências (a) no compartimento  $c_0$  (b) no compartimento  $a_0$

# 4

## AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS E CAUSAS PROVÁVEIS

### 4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O método de diagnóstico utilizado pressupôs uma análise documental, inspeção visual e levantamento fotográfico, apresentados no capítulo anterior, e, ainda, a realização de ensaios não destrutivos com humidímetro, objeto do presente capítulo.

Em primeira análise, visitou-se o edifício e recolheu-se o máximo de informação para que se conseguisse um conhecimento global do edifício, do seu sistema construtivo, elementos construtivos, arquitetura, tipo de ocupação e perspetivas futuras. Posteriormente, realizou-se uma visita mais pormenorizada, inspecionando todos os compartimentos, detetando pontos de fragilidade e anomalias visíveis. Observaram-se as anomalias, identificaram-se os elementos onde estas ocorrem e procedeu-se ao seu registo com uma câmara fotográfica. Das anomalias observadas, selecionaram-se 4, que foram submetidas a ensaios para que se conhecesse a variação do teor de humidade.

Com a informação conseguida e através da análise dos resultados obtidos com o humidímetro, atribuíram-se possíveis causas para as anomalias observadas.

### 4.2. ENSAIOS *IN SITU*

#### 4.2.1. EQUIPAMENTO

O aparelho utilizado para medir os valores de humidade foi o humidímetro apresentado na figura 34. A escolha deste aparelho deve-se ao cariz prático do trabalho. Com esse objetivo escolheu-se um aparelho simples, vulgarmente utilizado em obra para a medição do teor de água e auxiliar no diagnóstico.



Figura 34 – Humidímetro utilizado (Stanley 77-030)

O medidor de humidade da Stanley, modelo 77-030, deteta humidade em diferentes materiais construtivos. O aparelho apresenta escalas diferentes para os materiais, uma escala para a madeira (6% a 44%,  $\pm 2\%$ ) e outra para os restantes materiais de construção, como as placas de gesso, de estuque, de betão, de cimento (0,2% a 2,4%,  $\pm 0,1\%$ ). O aparelho funciona para temperaturas entre 0° a 50°C e para uma humidade relativa máxima de 80%. Com a tampa de proteção do aparelho, testa-se a precisão do mesmo.

O aparelho mede o teor de humidade através de duas agulhas, providas de elétrodos, que em contacto com o material registam a resistência elétrica do mesmo. O teor de água será inversamente proporcional ao valor da resistência elétrica, e é através desta proporcionalidade que é estimada a percentagem de humidade. Na figura 35 apresenta-se um esquema do aparelho e a respetiva legenda, e na figura 36 a escala do aparelho. O aparelho apresenta duas escalas: do lado esquerdo do ecrã lê-se o teor de humidade para a madeira, e do lado direito, os valores para os restantes materiais.

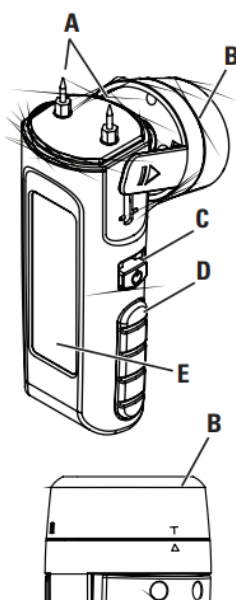


Figura 35 – Esquema do medidor de humidade 77-030 STANLEY

A – elétrodos; B – tampa de proteção, com tomadas para testar a pilha e a resistência; C – botão de ligar/desligar; D – pegadas de borracha; ecrã LCD com luz de fundo [41]

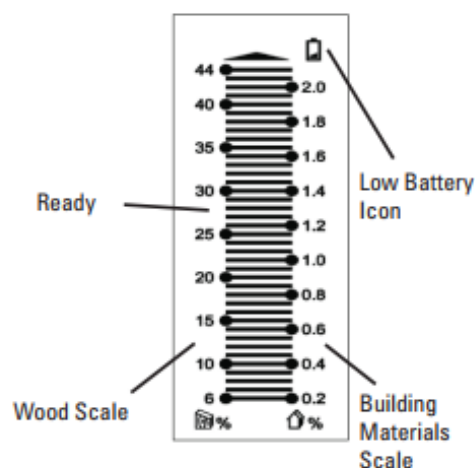


Figura 36 – Ecrã do aparelho com as respetivas escalas, à esquerda para a madeira e à direita para os restantes materiais construtivos. [41]

#### 4.2.2. METODOLOGIA DE ENSAIO

Os ensaios com o humidímetro foram realizados em 3 períodos distintos: 30 de Março, 7 de Abril e 17 de Maio. Estas datas foram selecionadas de acordo com as condições meteorológicas. A semana anterior a cada ensaio é caracterizada sob a forma de gráficos, pois as condições meteorológicas podem ter uma influência determinante nos resultados dos ensaios.

As baixas temperaturas, a precipitação e a humidade do ar potenciam a presença de humidade nos materiais de construção. Estas condições climáticas propiciam a absorção da humidade do ar, retardam

a secagem dos elementos construtivos devido às baixas temperaturas, propiciam as infiltrações pelo exterior e provocam a subida do nível freático. Ou seja, o clima de inverno estimula o aparecimento ou o agravamento das patologias devido a humidade.

Optou-se por caracterizar o clima da semana que antecede o dia do ensaio, uma vez que a humidade presente num elemento construtivo poderá levar algum tempo até secar, dependendo das condições fronteira e características do mesmo.

Devido ao acesso limitado ao local de ensaio, as medições efetuadas no dia 17 de Maio não foram concluídas, sendo que, para este dia, não são apresentados valores para todos os locais de ensaio.

Realizaram-se ensaios em 4 zonas distintas da fachada, nas quais se observam patologias provocadas pela presença de humidade. Os ensaios efetuados têm como objetivo compreender qual a origem da humidade. As patologias podem ser originadas por uma infiltração pela cobertura, caixilharia, outras singularidades; ou por fenómenos de humidade ascensional.

As quatro patologias analisadas situam-se no R/C, na fachada principal do edifício, orientada a poente. Na figura 37 representa-se a localização das patologias: A, B, C, D.

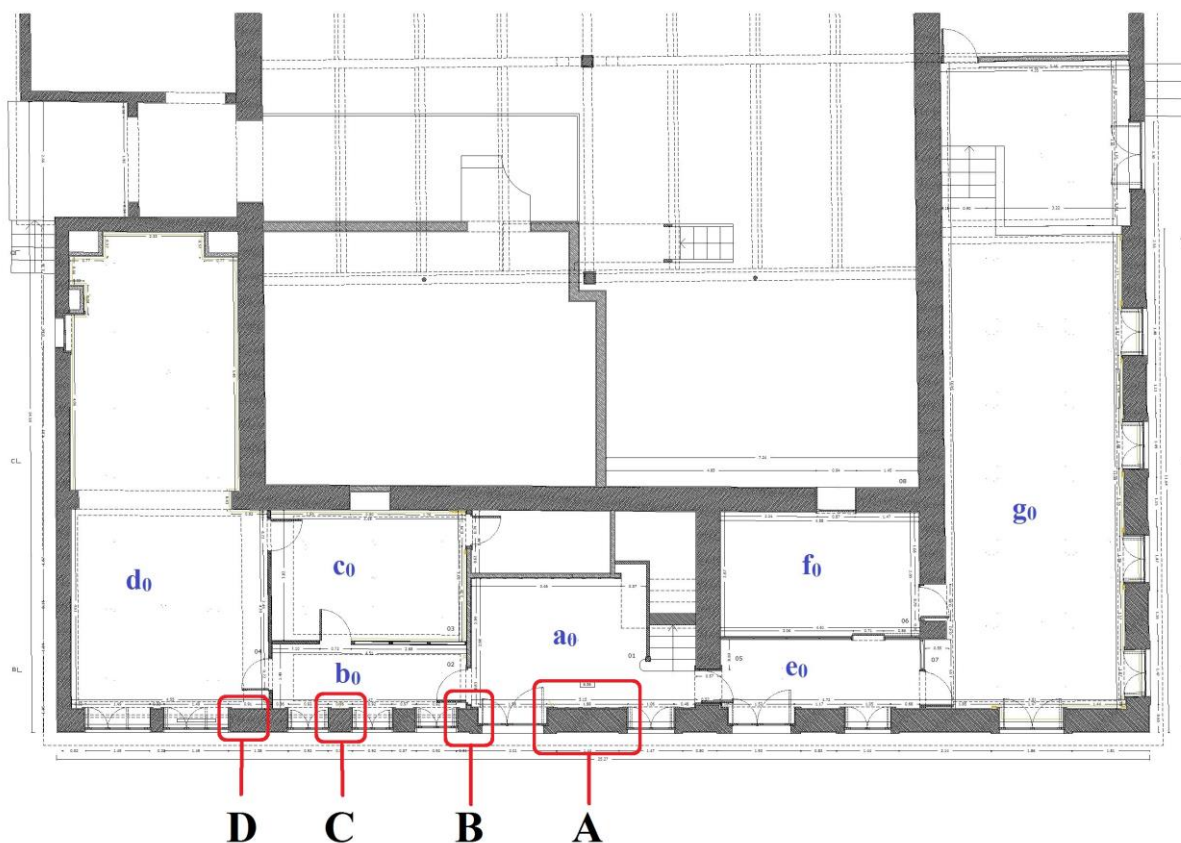


Figura 37 – Localização das patologias


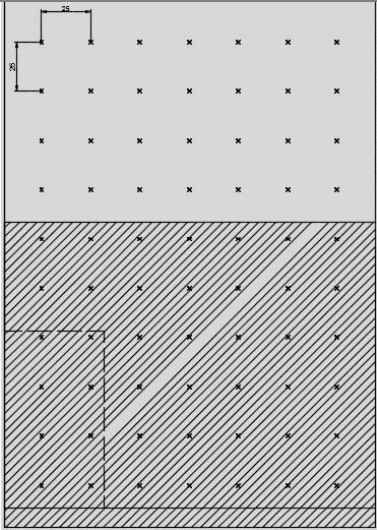

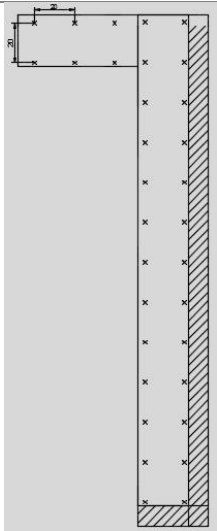
Como se pretende estudar a origem e a migração da humidade, realizou-se um mapeamento de pontos a medir. Para cada parede (A, B, C, D) elaborou-se um esquema do elemento construtivo e uma grelha de pontos. De acordo com a dimensão da área em análise, escolheu-se a distância entre os pontos a medir. Para a patologia A realizaram-se medições ao longo de toda a parede, pelo que foi escolhida uma

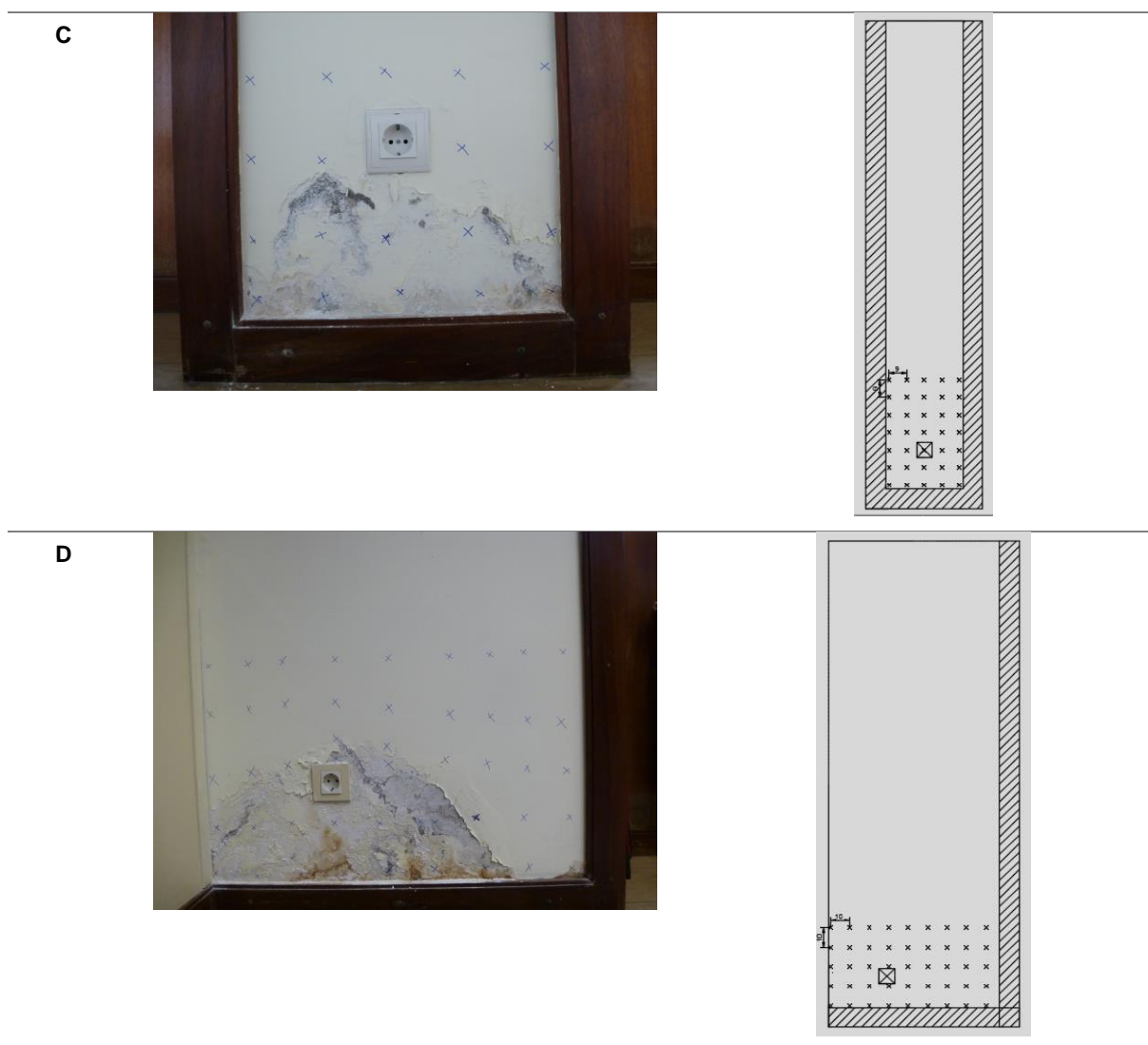


distância de 25 cm entre pontos. Na parede da patologia B foram realizadas medições ao longo de toda a altura da parede e na zona acima da porta, mas dado o estreito espaço a medir, optou-se por um espaçamento de 20 cm. Nas medições das patologias C e D optou-se por um espaçamento entre pontos inferior, de 10 cm, pois a área de ensaio é menor.

Nos três períodos de ensaio foram utilizadas as mesmas grelhas de pontos, para que os resultados pudessem ser comparados. A marcação dos pontos as paredes analisadas e o mapeamento destes pontos estão sistematizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Zona e mapa de ensaio

Ensaio	Zona de ensaio	Mapa de ensaio
<b>A</b>		
<b>B</b>		



Em cada dia de ensaio, para cada ponto do mapeamento foi medido um valor do teor de humidade com o humidímetro. A leitura dos valores realizou-se com o aparelho na horizontal, inserindo as agulhas o mais profundo possível. Assim que o valor estabilizasse, registava-se o valor, medido na escala apropriada (de acordo com o material de construção).

Como o aparelho apresenta duas escalas, de acordo com o material de construção, procedeu-se a uma conversão dos valores numa escala de 0 a 1, como explicitado na Tabela 2. Desta forma, conseguiu-se converter os valores das tabelas numa só escala de valores, tornando-as harmoniosas e de leitura mais simples.

Tabela 2 – Conversão de escalas

Materiais	Escala do aparelho		Escala harmonizada	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<b>Madeira</b>	0%	44%	0	1
<b>Argamassa/Pedra</b>	0%	2%	0	1



Para uma melhor compreensão dos teores de água detetados, definiu-se uma escala de cores (Tabela 3). A cada intervalo de valores associou-se uma cor, para que se possam identificar as zonas com maior percentagem de água. Escolheu-se uma escala de cinco tonalidades de azul, um tom para cada intervalo de duas décimas, o tom mais claro corresponde ao intervalo de valores com menor teor de humidade e o tom mais escuro para o de maior teor de humidade.

Tabela 3 – Relação da escala de humidade com a escala de cores atribuídas

<b>Escala de humidade</b>	<b>Escala de cores</b>
<b>0,0 - 0,2</b>	
<b>0,2 - 0,4</b>	
<b>0,4 - 0,6</b>	
<b>0,6 - 0,8</b>	
<b>0,8 - 1,0</b>	

Para melhor compreender os valores de humidade obtidos, mediu-se o teor de humidade numa parede interior sem degradação aparente. Assim, foi possível definir um valor do teor de humidade para o qual o material é considerado seco. Na parede escolhida, com revestimento em argamassa, mediu-se um teor de humidade de 0,45 %, que convertido na escala harmonizada, corresponde a aproximadamente 0,2. Com base neste valor considera-se que as zonas com valores acima de 0,2, apresentam teor de humidade acima do “normal”.

#### 4.2.3. RESULTADOS

##### 4.2.3.1. CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS

Nos gráficos das figuras 38 a 40 apresentam-se as condições climatéricas exteriores, à data dos ensaios realizados, com valores relativos à temperatura, humidade relativa, radiação solar (global e difusa), precipitação e velocidade do vento. Estes parâmetros definem as condições fronteira, que em conjunto com as características do material, condicionam o transporte da humidade no elemento construtivo. Os valores apresentados foram obtidos através do tratamento dos dados da estação meteorológica do Laboratório de Física das Construções da FEUP. Para cada parâmetro, apresentam-se os valores médios diários, calculados a partir dos valores, para cada 10 minutos.

Uma vez que o edifício se localiza em Leça da Palmeira, no litoral, e as condições climatéricas analisadas são referentes à freguesia de Paranhos, os valores correspondentes, no local de ensaio, não serão iguais aos apresentados, mas similares. Localizando-se o edifício perto do mar, é espectável que a humidade nessa zona apresente valores mais elevados, assim como maior intensidade de vento.

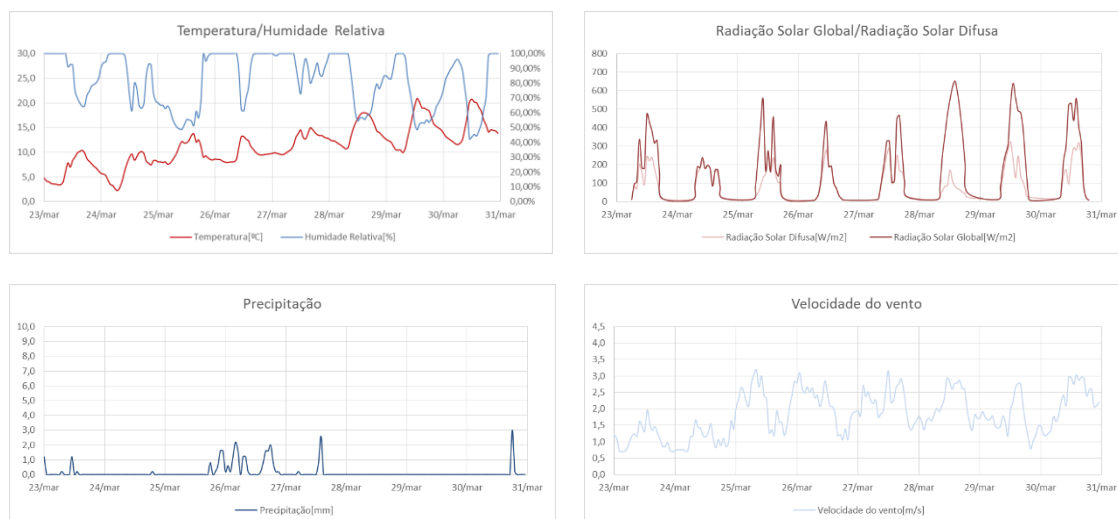


Figura 38 – Caracterização do clima da semana de 23 a 30 de Março

Tabela 4 – Condições climatéricas exteriores da semana de 23 a 30 de Março

	Temperatura	Humidade relativa	Radiação solar (global)	Precipitação*	Velocidade do vento
	[°C]	[%]	[W/m <sup>2</sup> ]	[mm]	[m/s]
<b>Média</b>	11	82	249	-	1,8
<b>Acumulada</b>	-	-	-	30,6	-
<b>Desvio Padrão</b>	4,1	0,2	192,2	0,3	0,7

Ao observar a figura 38 e a tabela 4 verifica-se que foi uma semana com períodos de precipitação e humidade relativa elevada. É possível identificar períodos de céu nublado, que coincidem com a ocorrência de precipitação.

A temperatura máxima atingida foi de 20,1°C, a 29 de Março, e a mínima de 2,3°C, a temperatura média da semana foi de 11°C. A radiação máxima foi de 651 W/m<sup>2</sup>, atingida no dia 28 de Março, dia a partir do qual se assiste a uma melhoria do estado do tempo, deixa de chover, a temperatura aumenta e a humidade relativa alcança valores inferiores. A média da humidade relativa é de 82 %, sendo que, ao longo de toda a semana, não se observam valores abaixo dos 40%. A precipitação acumulada da semana é de 30,6 mm.

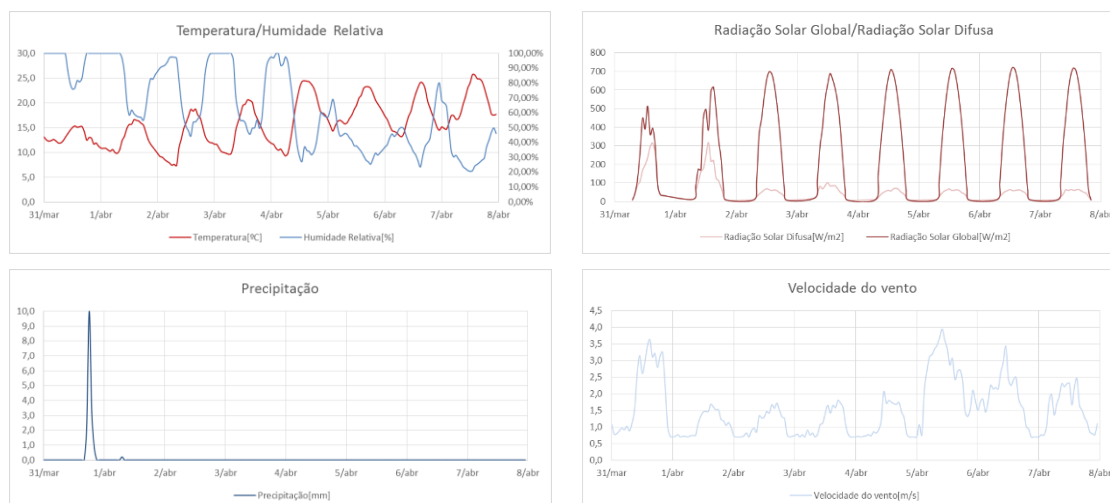


Figura 39 – Caracterização do clima da semana de 31 de Março a 7 de Abril

Tabela 5 - Condições climatéricas exteriores da semana de 31 de Março a 7 de Abril

	Temperatura	Humidade relativa	Radiação solar (global)	Precipitação*	Velocidade do vento
	[°C]	[%]	[W/m <sup>2</sup> ]	[mm]	[m/s]
<b>Média</b>	16	64	387	-	1,5
<b>Acumulada</b>	-	-	-	16,4	-
<b>Desvio Padrão</b>	4,5	0,3	238,2	1,4	0,9

Por análise da figura 39 e da tabela 5 verifica-se um aumento das temperaturas comparativamente com a semana anterior, uma queda da humidade relativa e precipitação, aumento da radiação solar global, características de uma semana de céu limpo com períodos de intensa exposição solar. Contudo, observa-se precipitação intensa, durante a noite do dia 31.

A temperatura mínima foi de 7,3°C, e a 2 de Abril a máxima atingida foi de 25,6°C, no dia 7 de abril, assistindo-se a um aumento da temperatura ao longo da semana. A temperatura média da semana foi de 16°C, identificando-se uma menor amplitude térmica relativamente à semana anterior. A radiação máxima foi de 710 W/m<sup>2</sup>, no dia 6 de Abril. A média da humidade relativa é de 64 %, 20 % mais baixa que a da semana anterior. A precipitação acumulada da semana é de 16,4 mm.

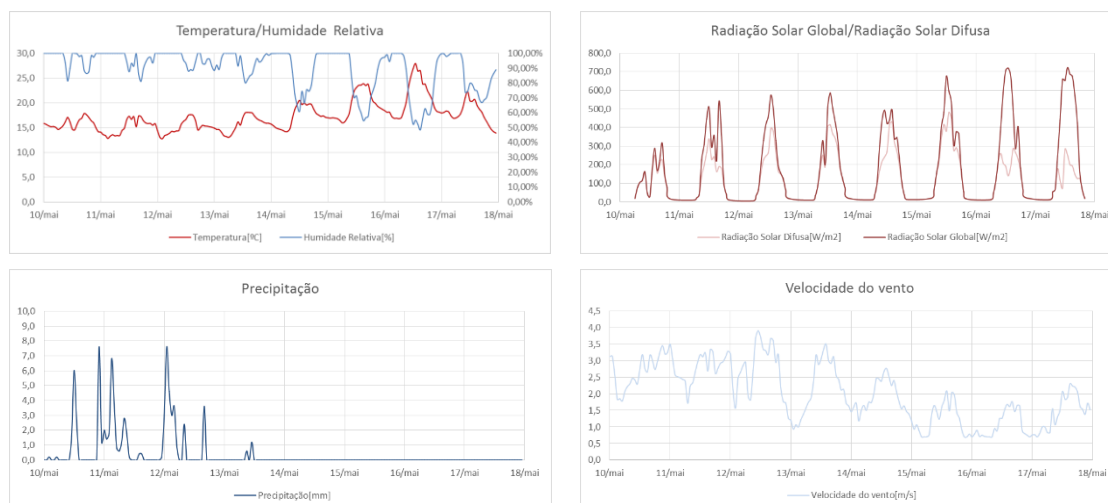


Figura 40 – Caracterização do clima da semana de 10 a 17 de Maio

Tabela 6 - Condições climatéricas exteriores da semana de 10 de Maio a 17 Maio

	Temperatura	Humidade relativa	Radiação solar (global)	Precipitação*	Velocidade do vento
	[°C]	[%]	[W/m <sup>2</sup> ]	[mm]	[m/s]
<b>Média</b>	17	90	273	-	2,0
<b>Acumulada</b>	-	-	-	74,2	-
<b>Desvio Padrão</b>	3,0	0,1	224,9	0,8	0,9

A figura 40 e a tabela 6 caracterizam a última semana de ensaios. É a semana com precipitação acumulada mais elevada, apesar de nos últimos 4 dias não ter chovido, os primeiros dias foram de precipitação intensa. A humidade relativa apresenta valores muito elevados, e as temperaturas não descem dos 13°C. Apresenta períodos de céu nublado.

A temperatura máxima atingida foi de 28°C, a 16 de Maio, e a mínima foi de 12,8°C, na madrugada de 12 de Maio. A temperatura média de semana foi de 17°C. A radiação máxima foi de 722,2 W/m<sup>2</sup>, atingida a 17 de Maio. A média da humidade relativa é de 90 %, sendo que, ao longo da semana, não se observam valores abaixo dos 48,5%. A precipitação acumulada da semana é de 74,2 mm.

Concluindo, a segunda semana de ensaios é a que apresenta valores de humidade relativa mais baixos, assim como menor precipitação. A última semana é a que exhibe valores de humidade relativa mais elevados e aquela com maior precipitação, mas é também a semana com temperaturas mais elevadas. A primeira e a terceira semanas de ensaios sugerem valores de teor de humidade na parede mais elevados, pois estas duas semanas apresentam valores de humidade mais altos e períodos de precipitação mais intensa.

## 4.2.3.2. PATOLOGIA A

Nas tabelas 7 e 8 apresentam-se os valores de teor de humidade medidos no ensaio de 30 de Março e no de 7 de Abril, respetivamente. Por incompatibilidade de horários não foi possível proceder ao mesmo ensaio no dia 17 de Maio.

As medições realizadas na alvenaria de pedra, depois de retirada uma régua de madeira do lambrim, apresentam-se nas tabelas 9 e 10. A matriz de pontos apresentada corresponde aos pontos do canto inferior esquerdo do mapeamento da parede A, como se pode verificar no mapa de ensaio apresentado na Tabela 1. Esta medição só foi possível mediante autorização pelo que não se efetuou ensaio no dia 30 de Março.

A linha castanha, apresentada nas tabelas 7 e 8, separa a zona da parede com revestimento de reboco e tinta, da zona inferior revestida a madeira.

Tabela 7 – Ensaio dia 30/03/2017

0,30	0,70	0,35	0,30	0,33	0,33	0,35
0,30	0,80	1,00	0,80	0,40	0,33	0,40
1,00	0,90	1,00	0,80	0,45	0,33	0,60
1,00	0,60	0,45	1,00	0,45	0,50	0,45
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,50	0,57	0,55	0,52	0,50	0,50	0,48
0,43	0,68	0,55	0,52	0,48	0,43	0,45
0,43	0,48	0,45	0,43	0,43	0,41	0,43
0,41	0,41	0,43	0,43	0,43	0,41	0,43
0,41	0,57	0,61	0,45	0,43	0,41	0,41

Tabela 8 – Ensaio dia 07/04/2017

0,43	0,58	0,35	1,00	0,43	0,28	0,28
1,00	0,45	1,00	0,43	0,35	0,30	0,45
1,00	0,43	0,35	0,65	0,43	0,40	0,30
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,43
0,39	0,55	0,55	0,52	0,52	0,52	0,48
0,36	0,64	0,52	0,50	0,48	0,45	0,45
0,34	0,43	0,43	0,43	0,43	0,39	0,43
0,34	0,36	0,39	0,43	0,43	0,41	0,41
0,36	0,43	0,45	0,39	0,34	0,36	0,34

Tabela 9 – Ensaio dia 07/04/2017

1,00	1,00
0,65	1,00
0,60	1,00
1,00	0,33

Tabela 10 – Ensaio dia 17/05/2017

1,00	1,00
0,95	1,00
0,85	0,85
1,00	0,60

Dos ensaios efetuados na parede de ensaio A, na zona com revestimento a reboco e tinta, identifica-se uma zona crítica, imediatamente acima do lambrim de madeira (tabelas 7 e 8). Dos valores medidos no lambrim, verifica-se que a madeira apresenta valores de teor de humidade mais baixos. Estes valores podem ser justificados pela existência de um espaço de ar entre o lambrim e a parede de alvenaria. Esta descontinuidade não ocorre na zona revestida a argamassa, pois o reboco é aplicado diretamente na alvenaria. No entanto os valores medidos diretamente na pedra são muito elevados, maioritariamente acima de 0,85. A pedra (por debaixo do lambrim) está coberta de sais que efloresceram à superfície, o que pode influenciar consideravelmente os ensaios.

Os valores, do primeiro ensaio da parede A, apresentam valores mais elevados do segundo dia de ensaios. O ensaio, do dia 30 de Março, realizou-se num período de precipitação mais intensa e maior percentagem de humidade relativa. Condições climatéricas mais favoráveis a um incremento da presença de humidade nos materiais de construção.

#### 4.2.3.3. PATOLOGIA B

As tabelas 11, 12 e 13 caracterizam o teor de humidade da parede B nos dias 30 de Março, 7 de Abril e 17 de Maio, respetivamente.

Tabela 11 – Ensaio dia 30/03/2017

0,30	0,30	0,30	0,60	0,35
0,00	0,00	0,35	0,25	0,35
			0,45	0,25
			0,35	0,35
			0,45	0,30
			0,33	0,45
			0,50	0,43
			0,40	0,35
			0,50	0,55
			0,70	0,70
			1,00	0,95
			0,50	1,00
			0,35	0,50

Tabela 12 – Ensaio dia 07/04/2017

0,00	0,10	0,43	0,33	0,28
0,00	0,00	0,25	0,18	0,25
			0,30	0,10
			0,33	0,30
			0,30	0,15
			0,33	0,35
			0,30	0,35
			0,30	0,30
			0,30	0,35
			0,38	0,43
			0,70	0,45
			0,38	0,50
			0,30	0,35

Tabela 13 – Ensaio dia 17/05/2017

0,00	0,15	0,43	0,33	0,25
0,00	0,00	0,30	0,20	0,25
			0,35	0,10
			0,40	0,30
			0,43	0,35
			0,35	0,63
			0,35	0,45
			0,35	0,38
			0,30	0,70
			0,33	1,00
			0,33	0,85
			0,40	1,00
			0,35	0,43

Por observação das tabelas, conclui-se que os valores são mais elevados no primeiro e no último dia de ensaio, coincidindo com os períodos de condições climáticas mais desfavoráveis: maior precipitação e humidade relativa elevada.

No canto inferior direito, o humidímetro mede valores de teor de humidade mais elevados do que na restante zona de ensaio. Os valores medidos nesta zona são muito próximos da unidade, enquanto que os restantes pontos apresentam valores, maioritariamente, inferiores a 0,40. Esta zona com valores de teor de humidade mais elevados apresenta um estado de degradação avançado, com destacamento de tinta e reboco. Apesar dos valores mais altos serem na zona inferior da parede, não é visível uma diminuição do teor de água com o aumento da cota.

## 4.2.3.4. PATOLOGIA C

Nas tabelas 14, 15 e 16 é caracterizado o teor de humidade da parede C nos dias 30 de Março, 7 de Abril e 17 de Maio, respetivamente. O mapeamento do ensaio foi alterado do primeiro dia de ensaio para o segundo. Com o objetivo de tornar os ensaios mais conclusivos, alargou-se a área de ensaio, aumentando o número de pontos do mapa de ensaios.

Tabela 14 – Ensaio dia 30/03/2017


0,33	0,33	0,35	0,33	0,10
0,33	0,43		0,33	0,10
0,43	0,43	0,40	0,40	0,80
0,33	0,33	0,30	0,38	0,38

Tabela 15 – Ensaio dia 07/04/2017



0,25	0,23	0,23	0,23	0,15
0,18	0,23	0,20	0,25	0,25
0,23	0,28	0,28	0,28	0,23
0,28	0,28	0,38	0,28	0,25
0,28	0,33		0,30	0,25
0,33	0,33	0,30	0,33	0,40
0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

Tabela 16 – Ensaio dia 17/05/2017

0,33	0,33	0,33	0,33	0,30
0,33	0,33	0,33	0,33	0,30
0,33	0,35	0,35	0,35	0,30
0,35	0,35	0,45	0,35	0,35
0,35	0,43		0,35	0,33
0,45	0,45	0,45	0,43	0,95
0,45	0,48	0,40	0,43	0,43

O mapa de valores é muito homogéneo, nos três dias de ensaio; há exceção do 0,80 no primeiro ensaio, do 0,40 no segundo ensaio e do 0,95 no terceiro ensaio. Estes três valores correspondem sempre ao mesmo ponto, e é um valor que se destaque em relação aos restantes.

No terceiro ensaio observa-se uma mancha mais escura na zona inferior, em formato piramidal (da base da parede até à tomada), que corresponde a uma zona de valores mais elevados. Esta zona apresenta valores de teor de humidade próximos de 0,45 e os restantes pontos medem, na sua maioria, 0,33.

Os valores do teor de humidade, relativos aos ensaios de 30 de Março e de 17 de Maio, são ligeiramente mais elevados do que os ensaios de 7 de Abril. Os ensaios com resultados mais elevados correspondem aos períodos em que o clima apresenta maior precipitação e humidade relativa mais elevada.



#### 4.2.3.5. PATOLOGIA D

As tabelas 17 e 18 caracterizam o teor de humidade da parede D nos dias 30 de Março e 7 de Abril, respetivamente. No entanto, não são apresentados os resultados de ensaio do dia 17 de Maio porque não foi possível aceder a este compartimento nesse dia. Do primeiro para o segundo dia de ensaios, a matriz de pontos, do mapa de ensaio da parede D, foi aumentada, na tentativa que os resultados se tornassem mais conclusivos.

Tabela 17 – Ensaio dia 30/03/2017

0,00	0,00	0,00	0,13	0,28	0,30	0,28	0,30	0,28
0,00	0,00	0,00	0,15	0,28	0,30	0,30	0,30	0,28
0,00	0,30	0,55	0,25	0,55	0,83	0,33	0,30	0,30
0,00	0,00	0,00	0,43	0,35	0,70	0,70	0,30	0,30
0,43	0,60	0,55	0,38	0,85	0,45	0,60	0,43	0,43

Tabela 18 – Ensaio dia 07/04/2017

0,30	0,28	0,28	0,25	0,28	0,23	0,25	0,25	0,23
0,30	0,28	0,25	0,28	0,28	0,23	0,25	0,25	0,23
0,28	0,25	0,25	0,28	0,28	0,28	0,25	0,23	0,23
0,28	0,28	0,28	0,28	0,30	0,28	0,28	0,23	0,23
0,28	0,43	0,43	0,40	0,40	0,45	0,35	0,25	0,25
0,40	0,80	0,30	0,40	0,30	0,43	0,35	0,28	0,25
0,25	0,50	0,40	0,35	0,43	0,35	0,43	0,35	0,33

O primeiro ensaio apresenta valores mais elevados, resultado que coincide com o período em que ocorreu maior precipitação, humidade relativa mais elevada e temperaturas mais baixas.

Tanto no primeiro como no segundo dia de ensaio, os valores mais elevados correspondem aos pontos mais próximos da base e aos pontos no centro do mapa de ensaio (onde se localiza uma tomada).

Os valores do segundo dia de ensaio estão próximos de 0,28. No primeiro dia de ensaio, o canto superior esquerdo não indica a presença de humidade, no entanto, os valores medidos nos restantes pontos são superiores aos do segundo ensaio, maioritariamente, iguais ou maiores a 0,28.

#### 4.2.4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES DOS ENSAIOS

Este tipo de aparelho é de fácil e rápida utilização, contudo a sua precisão é discutível, a medição é superficial e os valores são aproximados. As medições do teor de água estão sujeitas a diversos erros, pois, o tipo de material e a presença de sais influenciam a resistência elétrica. A degradação do material confere-lhe heterogeneidade, fator que influencia determinantemente na coerência dos resultados. O contacto das agulhas com o material é outro fator que influencia os resultados dos ensaios.

Como se pode observar nas fotografias da Tabela 1, as paredes, nas quais se realizaram os ensaios, estão num estado de degradação avançada. Há zonas, ainda, com tinta, outras com reboco à vista ou com destacamento do mesmo, há desenvolvimento de bolores e sais, um conjunto de fatores que alteram os resultados de ensaio, tornando-os pouco significativos.

Apesar de, genericamente, os valores observados serem mais elevados junto à base, os resultados obtidos não foram conclusivos, não sendo possível afirmar a origem da água. Desta forma, sugere-se a repetição periódica de ensaios com humidímetro, ao longo da estação das chuvas. Complementarmente propõe-se a realização de ensaios gravimétricos para que se possa tirar conclusões relativamente à origem da água, ou seja, perceber se ocorrem humidades ascensionais.

#### **4.3. IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS POSSÍVEIS**

As patologias observadas nas caixilharias e peitoris, como o destacamento da figura 26 (c), o empolamento da figura 27 (a) ou o desenvolvimento de bolores da figura 28 (b), podem ser consequência de diferentes causas:

- Falta da manutenção periódica, necessária a este tipo de caixilharias;
- Sujidade acumulada;
- Envelhecimento da madeira por ação dos agentes atmosféricos (radiação solar e absorção de água), agentes biológicos (dependendo da suscetibilidade da madeira);
- Má qualidade ou aplicação deficiente dos vedantes ou argamassas de ligação, provocam o destacamento dos mesmos;
- Projeto deficiente;
- Erros de execução;
- Infiltrações de água das chuvas.

A degradação das ferragens ( figura 23) deve-se à corrosão provocada pela:

- Exposição, dada a proximidade ao mar;
- Condições de utilização;
- Natureza do material utilizado.

A degradação da cobertura pode ter diferentes causas associadas (Figura 30):

- Impactos provocados pela queda de granizo, objetos pesados ou movimentação de cargas, que podem fraturar as telhas (elementos fraturados, deslocamentos ou deslizamentos de telhas originam pontos de fragilidade, facilitando as infiltrações);
- Acumulação de lixo e desenvolvimento de musgos (condicionam o escoamento da água, originam pontos acumulação de água, que acabará por se infiltrar);
- Falta de ventilação ou ciclos gelo-degelo (podem provocar o descasque da telha cerâmica);
- Erros de projeto e de execução;
- Deficiente manutenção.

As principais causas da degradação da tubagem das redes, de águas pluviais, como as exemplificadas na Figura 31, são:

- Entupimento;
- Rotura.

As possíveis causas de fissuração da fachada (Figura 32) são:

- Variação da dimensão dos materiais de revestimento, consequência da variação do teor de humidade e temperatura;
- Ação dos agentes atmosféricos (água, vento, radiação solar);
- Pequenas deformações da estrutura;
- Intervenção de reabilitação inadequada, com a aplicação de um revestimento e/ou tinta não compatíveis com os materiais de origem.

As manchas de sujidade, observadas na figura 29, surgem pela acumulação de pó e resíduos nos peitoris, que são depois arrastados pela água da chuva. Esta acumulação de lixo e consequentes escorrências sob os peitoris dos vãos exteriores devem-se, possivelmente, à:

- Inexistência de detalhe de projeto do peitoril;
- Deficiente execução do peitoril;
- Inexistência de pingadeira de dimensão adequada.

Na origem das manchas de humidade, destacamentos, empolamentos, eflorescências está a humidade, que pode ter diferentes causas:

- Infiltrações pela cobertura degradada, como as manchas de humidade, observadas na figura 25 e os destacamentos das fotografias (b) e (d) da figura 26 (manifestações no teto do primeiro piso causadas por infiltrações através da cobertura danificada);
- Infiltrações pelas fissuras da fachada;
- Infiltrações pela caixilharia;
- Humidade ascensional.

A anomalia observada na figura 26 (a), manifesta-se numa *courette*, sob as instalações sanitárias do primeiro piso, pelo que o destacamento da tinta poderá ter sido causado por uma fuga das tubagens de esgotos ou uma infiltração.

A degradação do pavimento em soalho de madeira (Figura 24) é resultado da atuação das larvas do bicho da madeira. O aparecimento destes insetos depende do humedecimento e da qualidade da madeira utilizada. A zona do soalho afetada localiza-se sobre a laje de betão, realizada numa fase posterior à construção do restante edifício. Assim, a humidade de construção da laje de betão poderá ter originado o humedecimento do soalho, tornando-o mais suscetível ao desenvolvimento biológico.

A patologia A, caracterizada na Figura 41, apresenta destacamento da tinta, empolamento e eflorescências. Na figura 41 apresenta-se uma caracterização da envolvente da patologia em análise, de forma a compreender e analisar as causas prováveis, nomeadamente:

- Infiltrações pelas fissuras da fachada;
- Infiltrações pela cobertura;
- Humidades ascensionais.

Como se verifica na Figura 41, a parede no piso 1 encontra-se, também, degradada, assim como o teto do piso 1, sustentando a hipótese de infiltração pela cobertura. Contudo, os ensaios realizados demonstram que a parte inferior da parede apresenta valores de teor de humidade mais elevados do que a zona superior, apoiando a hipótese de humidade ascensional. A Figura 41 revela a existência de fissuras na fachada, coincidentes com a zona onde surgem as anomalias no interior, sustentando a possibilidade de infiltração de água pela fachada. Apesar de tudo, a origem da patologia poderá ser uma destas causas ou a combinação das mesmas.

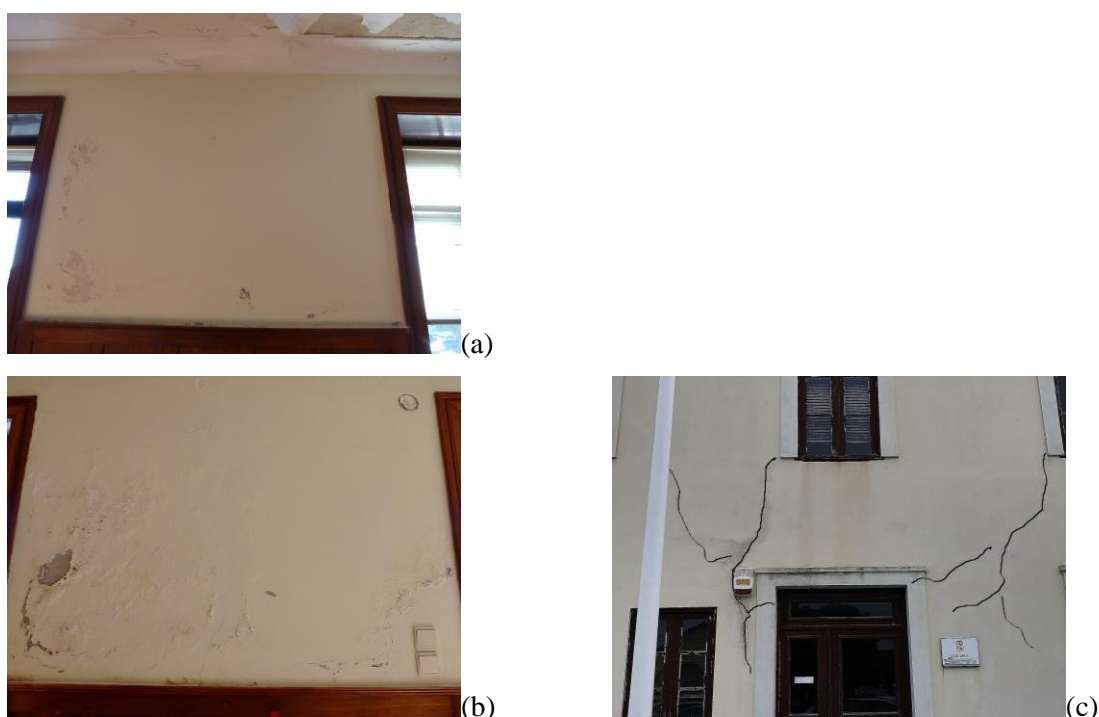


Figura 41 – Contextualização da patologia A (a) piso 1 (b) patologia em análise (c) exterior

As causas prováveis para a manifestação da patologia B (figura 42) são:

- Fissuração do reboco da fachada;
- Deficiente aplicação de equipamento (alarme);
- Degradação da rede de águas pluviais pode agravar a patologia, contribuindo para um aumento do volume de água na fachada;
- Infiltração da caixilharia.

Na Figura 42, verifica-se que, no primeiro piso, não há degradação aparente da parede em análise, nem na zona do teto, refutando a hipótese de infiltração de água pela cobertura. Pelo exterior verifica-se que a incorreta aplicação de um alarme originou a rotura e consequente fissuração na fachada, na zona da parede onde, no interior, se expressa a patologia. Os ensaios relativos à patologia B não foram conclusivos, apresentando valores mais elevados, principalmente, nas zonas mais degradadas. Assim

sendo, os dados observados apontam para que a origem da patologia esteja relacionada com a infiltração de água pela abertura e fissuras, provocadas pela aplicação deficiente do equipamento.



(a)



(b)



(c)

Figura 42 – Contextualização da patologia B (a) piso 1 (b) patologia em análise (c) no exterior

Relativamente às patologias C e D (tabela 1), submetidas a ensaios, as principais causas prováveis são:

- Fuga pelas canalizações;
- Humidades ascensionais;
- Infiltrações.

Os valores medidos não foram conclusivos, contudo a presença de sais e de valores mais elevados junto ao solo apontam para que a causa da manifestação esteja relacionada com humidades ascensionais. A degradação mais acentuada à volta da tubagem indica um caminho preferencial seguido pela água no interior do elemento construtivo.

#### 4.4. SÍNTESE CRÍTICA

Os ensaios realizados com humidímetro não foram conclusivos. O aparelho utilizado é de pouca precisão, e dada a degradação e heterogeneidade da área de ensaio, os valores obtidos não são suficientes para concluir quanto à origem das patologias analisadas. Verifica-se que os resultados dos ensaios são condicionados pelas condições atmosféricas, no entanto, o período de ensaios deve ser

mais extenso e em condições climatéricas diversas, para que se possa proceder à comparação de dados, e atingir resultados conclusivos.

Cada patologia pode estar associada a diferentes causas e sem um conhecimento profundo da manifestação e da sua envolvente é difícil definir a origem do problema.

As patologias predominantes são provocadas pela ação da humidade. Estas manifestações são provenientes de infiltrações pela cobertura degradada, de humidades ascensionais (ascensão da água e sais por capilaridade) e infiltrações pelas fissuras da fachada (provocada pela precipitação e direção e intensidade do vento). As restantes patologias resultam da falta de manutenção do edifício, envelhecimento dos materiais, utilização menos adequada dos espaços e intervenções menos corretas, desajustadas aos materiais e soluções construtivas existentes.

# 5

## PROPOSTAS DE SOLUÇÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente capítulo são abordadas possíveis soluções para reabilitação dos elementos da fachada e cobertura do edifício em estudo.

O objetivo do trabalho desenvolvido não é a proposta de uma solução perentória para as patologias observadas mas a análise comparativa de soluções, respetivas vantagens, inconvenientes e custos associados. As soluções propostas, e a análise crítica das mesmas, foram desenvolvidas com base em informação recolhida. Para obter as informações necessárias foram consultadas diversas empresas, através do contacto telefónico, agendamento de reuniões e visitas a empresas. Desta forma, foi possível compreender melhor as soluções e os materiais do mercado, e conhecer as empresas.

Para soluções de impermeabilização para a cobertura consultaram-se as empresas Layeroof-Comércio de Materiais de Construção, Lda., representante da Delta em Portugal, e a Onduline - Materiais de Construção, S.A..

Para as soluções de reparação ou substituição das caixilharias foram consultadas as seguintes empresas: Tramel S.A, empresa de serralharia civil, e as carpintarias J&J Teixeira S.A e José Teixeira Leça & Filhos Lda..

Para possíveis soluções da fachada, faces exterior e interior, contactou-se a CIN S.A, Sika S.A, Cimpor S.A e Saint-Gobain Weber Portugal, S.A.

Para outras informações, como aplicação dos produtos, tempo de intervenção, custos de aplicação e de mão-de-obra foram consultadas as empresas Piso Superior Construção e Reparação de Edifícios, Lda. e Construções Cristão & Cristão, Lda.

### 5.2. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES

#### 5.2.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Com o objetivo de definir soluções viáveis para a reabilitação da envolvente do edifício em estudo, analisaram-se 4 soluções para a cobertura, 4 soluções para fachada face exterior, 4 soluções para a fachada face interior e 4 soluções para as caixilharias.

Apesar da noção da fragilidade dos pontos singulares (como fachada/pavimento, fachada/laje cobertura, fachada/beiral), o foco do trabalho foi as zonas correntes, pelo que as propostas apresentadas não abordam estas particularidades. Apesar de se compreender a importância de analisar o edifício com um todo, foi desenvolvida uma apresentação de propostas analisando cada elemento em separado.

Na figura 43 é apresentado um esquema das propostas de solução para reabilitação do edifício.

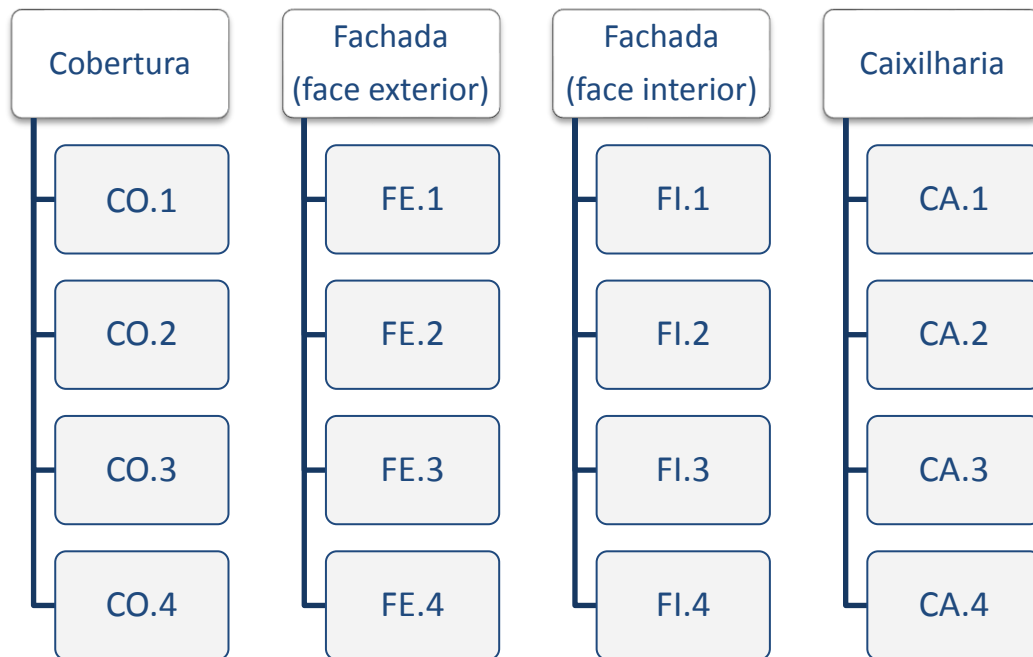


Figura 43 – Esquema das soluções propostas

Algumas das soluções apresentadas para a reabilitação da cobertura e da fachada, incluem a aplicação de uma camada de isolamento térmico, para melhorar as características térmicas do edifício. Assim, para as soluções que apresentem uma camada de isolamento térmico, a espessura desta camada deve ser calculada de acordo com a fórmula para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ [W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)]}$$

Com,

$\sum_j R_j$  - Resistência térmica da camada j, [m<sup>2</sup> .°C/W]

$R_{si}$  - Resistência térmica interior, [m<sup>2</sup> .°C/W]

$R_{se}$  - Resistência térmica exterior, [m<sup>2</sup> .°C/W] [8]

Os valores regulamentares para o coeficiente de transmissão térmica são definidos na Portaria n.º 379-A/2015. No caso das soluções de reabilitação, os valores deste coeficiente não devem ultrapassar os tabelados este regulamento [42].

A zona climática correspondente ao distrito do Porto, município de Matosinhos, local do edifício em estudo, é a II. Assim, ao definir a espessura do isolamento na cobertura o valor de U deve ser no máximo 0,40 W/(m<sup>2</sup> .°C). Para a fachada, o valor de U não deve ultrapassar 0,50 [W/(m<sup>2</sup> .°C)]. E para os vãos envidraçados, especificamente as portas e janelas, o valor máximo de U é de 2,80 [W/(m<sup>2</sup> .°C)]. Quanto menor for o U da solução, melhor será o comportamento térmico desta [42].



## 5.2.2. COBERTURA

### 5.2.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O grau de degradação da cobertura é elevado, consequência do envelhecimento dos materiais constituintes e carência de trabalhos de manutenção, pelo que permite a infiltração de água e consequente degradação dos tetos e paredes do interior do edifício. Para elaboração das propostas de reabilitação apresentadas, assumiu-se que a estrutura apresenta um bom estado de conservação e resistência adequada. Por estas razões, não é mencionada qualquer limpeza ou tratamento da estrutura de madeira, como aplicação de produtos de preservação ou de tratamento ignífugo. No caso da degradação da estrutura pôr em causa a segurança da cobertura, a estrutura deverá ser avaliada por um especialista.

As quatro soluções apresentadas garantem a conservação da tradição arquitetónica e a possibilidade de manter as telhas originais (em bom estado), substituindo aquelas que se encontrarem num estado de degradação tal que não possam desempenhar as suas funções. As duas soluções incrementam a permeabilidade à água (líquida) e garantem a ventilação do vão.

Com a reabilitação da cobertura pretende-se garantir a estanqueidade à água e proteção contra a humidade, mas também reforçar o isolamento térmico, de acordo com as exigências atuais.

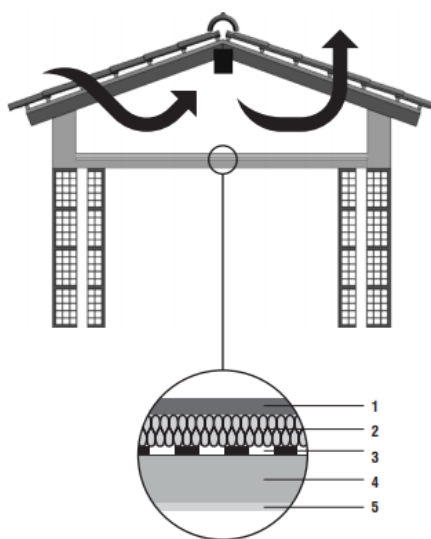


Figura 44 – Esquema de cobertura com desvão ventilado e isolamento na laje horizontal

1- revestimento de proteção 2- isolamento térmico 3- barreira pára-vapor 4- laje 5- revestimento interior [42]

Para melhorar o conforto térmico, as soluções apresentadas preveem a aplicação de um isolamento térmico sob o desvão; sobre a esteira horizontal é aplicada uma barreira pára-vapor, como esquematizado na Figura 44.

Para garantir um bom desempenho da cobertura tem de se garantir a ventilação do desvão e ventilação sob as telhas. Sendo um desvão não habitado, a ventilação é conseguida pela natural entrada do ar, pela ação do vento. No caso de se revelar necessário, podem-se criar aberturas para ventilação do desvão. A ventilação sob as telhas é conseguida através da aplicação de telhas de ventilação (em forma de W, ao

longo do telhado); através da circulação de ar entre a cumeeira e o beirado e pela existência de um espaço livre sob as telhas (conseguido pela aplicação do ripado) [42].

A ventilação necessária para evitar a ocorrência de condensações internas, de uma cobertura com uma vertente superior a 35° e uma largura de mais de 10 m, é conseguida através da execução de:

- Aberturas de ventilação na base da cobertura (beirado), de 10 mm x comprimento da vertente;
- Aberturas na cumeeira (topo do telhado), de 5 mm x o comprimento da vertente;
- Aplicação de telhas de ventilação, em forma de W, ao longo do telhado [4, 42].

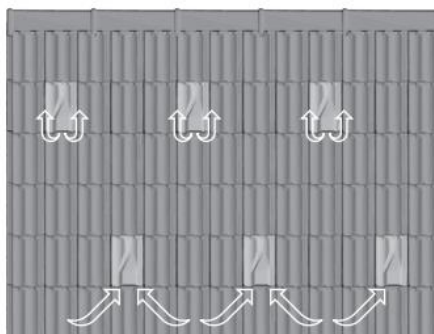


Figura 45 - Telhas de ventilação [42]

#### 5.2.2.2. SOLUÇÃO CO.1

A primeira solução proposta é de reabilitação da cobertura com aplicação de uma membrana impermeável à água mas permeável ao vapor, com aplicação de placas OSB ( Figura 46):

- Remover, telhas, contra-ripa, ripa e forro e eventuais elementos acessórios.
- Limpar o desvão, retirando toda a sujidade e entulho acumulados.
- Garantir desvão fortemente ventilado através de aberturas.
- Colocar uma camada de isolamento térmico sobre o teto do desvão (sendo este não habitado), constituída, por exemplo, por placas de poliuretano expandido extrudido, com espessura (entre 60 a 70 mm) calculada de forma a garantir um  $U$  inferior ao  $U_{máx}$ .
- Colocar as **placas OSB** (18 mm) sob a estrutura da cobertura.
- Colocar uma **membrana** impermeável à água (líquida), permeável ao vapor e de elevada resistência, aplicada por uma banda autoadesiva.
- Colocar nova **ripa e contra-ripa, de pinho tratado**. Este ripado constitui a estrutura de suporte do revestimento da telha cerâmica.
- Fixar todos os elementos em madeira com pregos em aço inox.
- Colocar telha cerâmica do tipo marselha, tal como a de origem, aproveitando aquelas que se encontrem em bom estado.
- O beirado, se em boas condições, deve ser tratado e mantido por razões económicas.
- Garantir a ventilação sob as telhas, com mecanismo de ventilação entre beirado e cumeeira e através da colocação de telhas de ventilação, controlando a quantidade de argamassa para que esta não seja impedida.

Esta solução deve incluir os acessórios de fixação e de remate, disponibilizados pelo mesmo fabricante da membrana e indispensáveis para a garantia de um sistema eficiente.

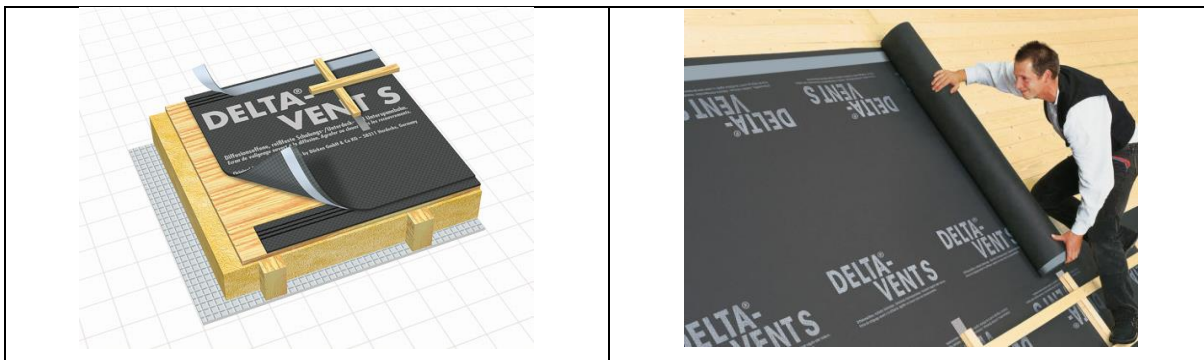


Figura 46 – Exemplo de produto: placa OSB + Membrana de SubTelha Delta®-Vent S Plus da Doerken, em Polipropileno; com características de impermeabilidade à água em estado líquido mas permeável ao vapor de água, com Sd igual a 0,02m e peso de 150g/m².

#### 5.2.2.3. SOLUÇÃO CO.2

A segunda solução proposta é de reabilitação da cobertura com aplicação de uma membrana impermeável à água mas permeável ao vapor, sem a aplicação de placas OSB. Desta forma propõe-se uma membrana com maior resistência do que na solução CO.1, uma vez que esta é colocada diretamente sobre a estrutura da cobertura ( Figura 47):

- Remover, telhas, contra-ripa, ripa e forro e eventuais elementos acessórios.
- Limpar o desvão, retirando toda a sujidade e entulho acumulados.
- Garantir desvão fortemente ventilado através de aberturas.
- Colocar uma camada de isolamento térmico sobre o teto do desvão (sendo este não habitado), constituída, por exemplo, por placas de poliuretano expandido extrudido, com espessura (entre 60 a 70 mm) calculada de forma a garantir um  $U$  inferior ao  $U_{máx}$ .
- Colocar uma **membrana** impermeável à água (líquida), permeável ao vapor e de elevada resistência, aplicada por uma banda autoadesiva.
- Colocar nova **ripa e contra-ripa, de pinho tratado**. Este ripado constitui a estrutura de suporte do revestimento da telha cerâmica.
- Fixar todos os elementos em madeira com pregos em aço inox
- Colocar telha cerâmica do tipo marselha, tal como a de origem, aproveitando aquelas que se encontrem em bom estado.
- O beirado, se em boas condições, deve ser tratado e mantido por razões económicas.
- Garantir a ventilação sob as telhas, com mecanismo de ventilação entre beirado e cumeeira e através da colocação de telhas de ventilação, controlando a quantidade de argamassa para que esta não seja impedida.

Esta solução deve incluir os acessórios de fixação e de remate, disponibilizados pelo mesmo fabricante da membrana e indispensáveis para a garantia de um sistema eficiente.

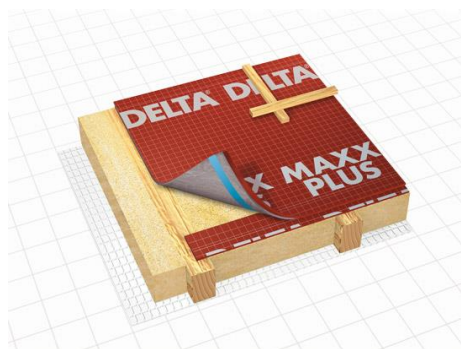


Figura 47 – Exemplo de produto: membrana respirável da Doerken, em poliéster altamente resistente ao desgaste, revestido por poliuretano permeável ao vapor; com características de impermeabilidade à água em estado líquido mas permeável ao vapor de água, com  $S_d$  de aproximadamente 0,15m e peso de 190g/m².

[43]

#### 5.2.2.4. SOLUÇÃO CO.3

A terceira solução garante a impermeabilização da cobertura através da aplicação de uma subtelha sobre uma superfície contínua (com a aplicação de placas OSB) (Figura 48):

- Remover, telhas, contra-ripa, ripa e forro e eventuais elementos acessórios.
- Limpar o desvão, retirando toda a sujidade e entulho acumulados.
- Garantir desvão fortemente ventilado.
- Colocar uma camada de isolamento térmico sobre o teto do desvão (sendo este não habitado), constituída, por exemplo, por placas de poliuretano expandido extrudido, com espessura (entre 60 a 70 mm) calculada de forma a garantir um  $U$  inferior ao  $U_{máx}$ .
- Colocar as **placas OSB** (18 mm) sob a estrutura da cobertura.
- Aplicar a **subtelha fibrobetuminosa** sobre a estrutura de madeira. Este sistema garante total estanquidade às infiltrações de água. Como não é permeável ao vapor, para garantir a ventilação do vão são colocados ventiladores de subtelha, distribuídos ao longo da cobertura em forma de W.
- Colocar nova **ripa em PVC**, fixadas segundo especificações da marca e rematar as placas de subtelha com fita autoadesiva.
- Colocar telha cerâmica do tipo marselha, tal como a de origem, aproveitando aquelas que se encontrem em bom estado.
- O beirado, se em boas condições, deve ser tratado e mantido por razões económicas.
- Garantir a ventilação sob as telhas, com mecanismo de ventilação entre beirado e cumeeira e através da colocação de telhas de ventilação, controlando a quantidade de argamassa para que esta não seja impedida.

Esta solução deve incluir os acessórios de fixação e de remate, disponibilizados pelo mesmo fabricante da subtelha e indispensáveis para a garantia de um sistema eficiente.

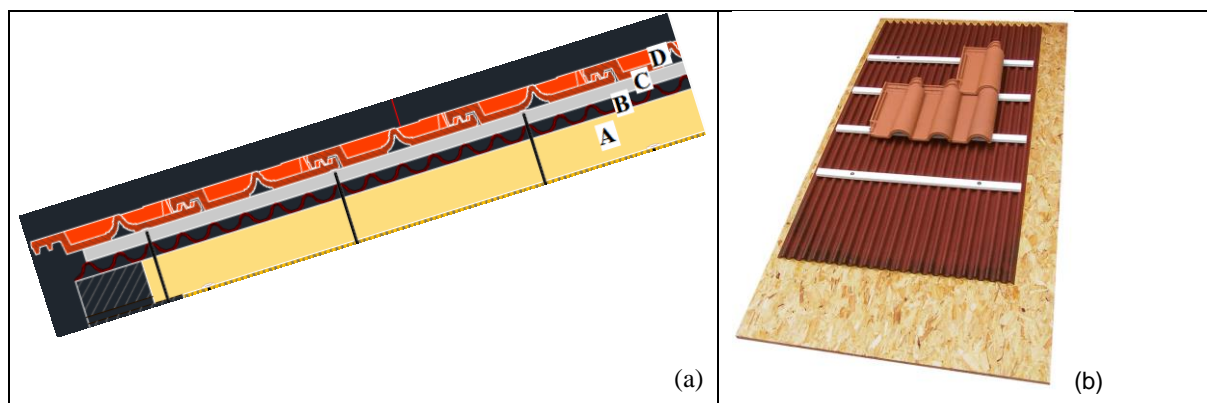


Figura 48 – exemplo de produto: placa OSB + subtelha ONDULINE ST50® + placa fibrobetuminosa (peso de cerca de 3,1 kg/m<sup>2</sup>) (a) – esquema construtivo: A – placa OSB, B – subtelha, C – ripa PVC, D – telha; (b) – pormenor subtelha [43]

#### 5.2.2.5. SOLUÇÃO CO.4

A quarta solução garante a impermeabilização da cobertura através da aplicação de uma subtelha sobre uma superfície descontínua. Desta forma, apresenta-se a mesma solução de subtelha da solução CO.3, mas sem aplicação das placas OSB (Figura 49):

- Remover, telhas, contra-ripa, ripa e forro e eventuais elementos acessórios.
- Limpar o desvão, retirando toda a sujidade e entulho acumulados.
- Garantir desvão fortemente ventilado
- Colocar uma camada de isolamento térmico sobre o teto do desvão (sendo este não habitado), constituída, por exemplo, por placas de poliuretano expandido extrudido, com espessura (entre 60 a 70 mm) calculada de forma a garantir um  $U$  inferior ao  $U_{máx}$ .
- Aplicar a **subtelha fibrobetuminosa** sobre a estrutura de madeira. Este sistema garante total estanquidade às infiltrações de água. Como não é permeável ao vapor, para garantir a ventilação do vão são colocados ventiladores de subtelha, distribuídos ao longo da cobertura em forma de W, um por cada 30 m<sup>2</sup>. Os ventiladores devem ser colocados por debaixo de uma telha de ventilação.
- Colocar nova **ripa em PVC**, fixadas segundo especificações da marca e rematar as placas de subtelha com fita autoadesiva
- Colocar telha cerâmica do tipo marselha, tal como a de origem, aproveitando aquelas que se encontrem em bom estado.
- O beirado, se em boas condições, deve ser tratado e mantido por razões económicas.
- Garantir a ventilação sob as telhas, com mecanismo de ventilação entre beirado e cumeeira e através da colocação de telhas de ventilação, controlando a quantidade de argamassa para que esta não seja impedida.

Esta solução deve incluir os acessórios de fixação e de remate, disponibilizados pelo mesmo fabricante da subtelha e indispensáveis para a garantia de um sistema eficiente.



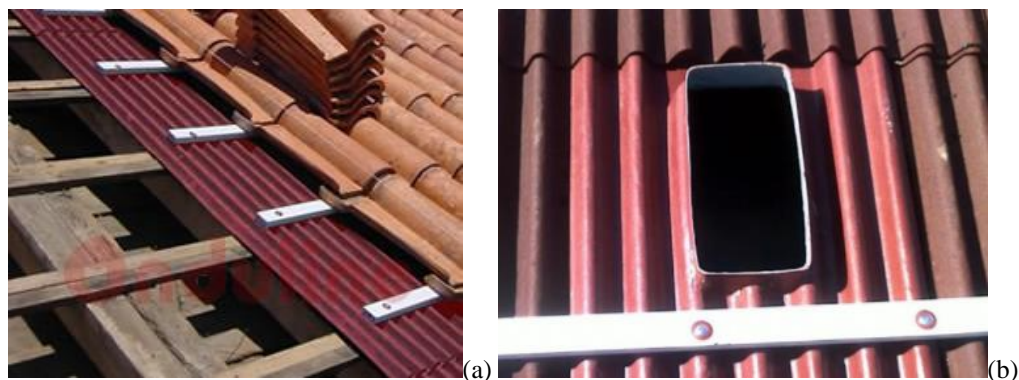


Figura 49 – Exemplo de produto: (a) - ONDULINE ST50 ® placa fibrobetuminosa (peso de cerca de 3,1 kg/m<sup>2</sup>)  
(b) – pormenor de telha de ventilador de subtelha [43]

### 5.2.3. FACHADA FACE EXTERIOR

#### 5.2.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Datando o edifício em estudo o início do século XX, a argamassa original seria à base de cal aérea, contudo a argamassa visível já não corresponde à de origem. Através da inspeção visual, conclui-se que o edifício tenha sido submetido a intervenções menos apropriadas com argamassas de cimento Portland. Esta argamassa não é compatível com a anterior, de cal aérea, contribuindo para um aceleração do processo de degradação da fachada.

Para reabilitação da fachada de um edifício antigo a primeira solução a considerar deve ser a de conservação dos materiais originais, mas esta opção pode não ser viável. Com a necessidade de substituição parcial ou total do reboco original, a argamassa a utilizar na intervenção deve ser cuidadosamente escolhida.

A adequabilidade do novo material é essencial para que não contribua para a degradação da fachada e materiais preexistentes mas, pelo contrário, contribua para um bom desempenho da fachada. O reboco exterior deve garantir a proteção da parede, assim como, durabilidade e reversibilidade da solução adotada.

Assim, para uma correta intervenção da fachada deve-se conhecer as características dos revestimentos preexistentes e quais as opções de intervenção compatíveis. Estas soluções devem garantir eficácia e durabilidade da solução, compatibilidade dos materiais novos com os existentes e prever planos de manutenção [26, 44-47].

Para reabilitação da face exterior da fachada são propostas quatro intervenções diferentes. Para as 4 soluções, a pintura da face interior e exterior da fachada optou-se por uma tinta mineral à base de silicatos. Esta tinta tem um bom desempenho funcional e um bom acabamento, que garante durabilidade, impermeabilidade à água da chuva mas permeabilidade ao vapor de água, permitindo a parede “respirar”. Exemplo de uma pintura com estas características é a SikaColor – 460 W. [43, 48]

#### 5.2.3.2. SOLUÇÃO FE.1

A solução FE.1 é a primeira opção a estudar quando se pretende reabilitar um edifício antigo. Esta solução preconiza a conservação dos revestimentos originais. Como se constatou que a fachada do edifício já estará revestida por uma argamassa à base de cimento Portland (incompatível com a

argamassa de origem), a solução descrita sugere a remoção total do reboco e aplicação de nova argamassa à base de cal, semelhante à original (Figura 50):

- Remover cuidadosamente a argamassa existente.
- Limpar as juntas (aproximadamente 5 cm), preencher com nova argamassa (à base de cal, tal como a de origem). Com a escova metálica, escovar a seco toda a superfície de suporte e, de seguida, lavar sob pressão. A superfície deve ser humedecida 24 horas antes de aplicar o revestimento.
- Aplicar **reboco tradicional à base de cal**, ou equivalente pré-doseado, aplicado em 3 camadas: chapisco, emboço e reboco.
  - A aplicação do chapisco (também denominado crespido ou salpisco) pode ser feita manual ou mecanicamente. A argamassa é projetada de forma a garantir rugosidade para proporcionar uma boa aderência. Esta camada, com uma espessura de 3 a 5 mm, deve ser periodicamente humedecida.
  - Após 48 horas pode-se aplicar a segunda camada, o emboço. Esta camada base deve ser lançada vigorosamente contra o suporte, conferindo a rugosidade necessária para garantir uma boa aderência da camada de revestimento. Deve ter uma espessura entre 10 a 15 mm e deverá secar durante uma a duas semanas.
  - A última camada a ser aplicada é o reboco, com uma espessura entre 5 a 10 mm.
  - Durante todo o processo deve-se evitar temperaturas extremas, vento e chuva, ou garantir a proteção do edifício contra os agentes climáticos. Os materiais utilizados devem respeitar as normas portuguesas ou europeias correspondentes.
- Pintar a fachada com tinta à base de silicatos, em duas demãos. [4, 49, 50]



Figura 50 – Exemplo de produto: weber.cal antique, reboco mineral para renovação de paredes antigas à base de cal hidráulica natural

#### 5.2.3.3. SOLUÇÃO FE.2

A segunda opção consiste na reparação do reboco em pontos singulares e pintura geral da fachada com materiais compatíveis (para este procedimento ressalva-se a importância da compatibilidade dos materiais utilizados com os pré-existentes):

- Limpeza e lavagem geral do suporte, com jato de água, para que a pintura existente seja removida, assim como poeiras e materiais soltos, mas sem danificar a estrutura de suporte.
- Verificar a coesão do reboco existente, para aplicação da pintura.
- **Reparação das fissuras** (Figura 51):
  - Remoção do reboco numa faixa de 25 cm ao longo da fissura;
  - Reabertura da fissura em forma de “V” com espessura à face e profundidade de 10 mm, utilizando uma rebarbadora;
  - Limpar a fissura com jato de ar e auxílio de escovagem, se necessário;
  - Colmatar a fissura com mástique à base de poliuretano;
  - Recobrir superficialmente a fissura com fita de dessolidarização com 5 cm de largura;
  - Aplicar uma camada de argamassa à base de cimento e cal hidráulica;
  - Embebimento da armadura de fibra de vidro com proteção antialcalina;
  - Aplicação de segunda camada de argamassa bastarda.
- Repor o reboco da fachada:
  - Preencher os vazios, previamente;
  - Aplicar a argamassa bastarda.
- Pintar a fachada com tinta à base de silicatos, em duas demãos.

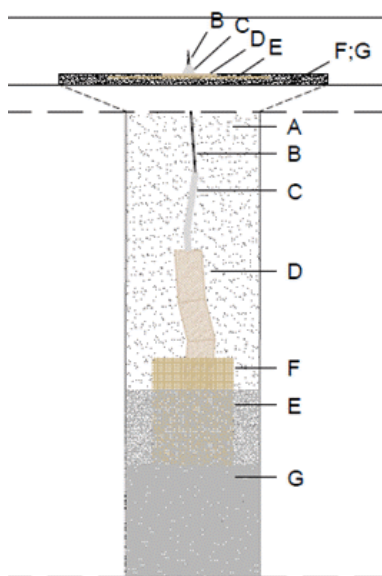


Figura 51 – Esquema de reparação de fissuras [43]

A – remoção do reboco; B – reabertura em forma de “V”; C – colmatação da fissura; D – recobrimento da fissura;  
E – 1ª camada de argamassa; F – embebimento da armadura; G – aplicação 2ª camada argamassa

#### 5.2.3.4. SOLUÇÃO FE.3

A aplicação de sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) funciona como um “casaco” de proteção e isolamento do sistema de alvenaria. Para a utilização deste sistema é fundamental que todos os seus componentes sejam compatíveis [51]. Assim, a terceira solução prevê:



- Lavagem da fachada com jato de água, de baixa pressão, retirando a tinta e eliminando materiais soltos e poeiras, sem que a estrutura de suporte seja afetada.
- **Reparação das fissuras:**
  - Remoção do reboco numa faixa de 25 cm ao longo da fissura;
  - Reabertura da fissura em forma de “V” com espessura à face e profundidade de 10 mm, utilizando uma rebarbadora;
  - Limpar a fissura com jato de ar e auxílio de escovagem, se necessário;
  - Colmatar a fissura com mástique à base de poliuretano;
  - Recobrir superficialmente a fissura com fita de dessolidarização com 5 cm de largura;
  - Aplicar uma camada de argamassa à base de cimento e cal hidráulica;
  - Embebimento da armadura de fibra de vidro com proteção antialcalina;
  - Aplicação de segunda camada de argamassa bastarda.
- **Aplicação do sistema ETICS (Figura 52):**
  - Aplicação mecânica do perfil de suporte para as placas de isolamento.
  - Aplicação das placas de isolamento, com espessura de 80 mm, para que cumpra a regulamentação térmica em vigor. As placas são fixas por uma argamassa de colagem e por fixação mecânica, com aplicação de buchas expansivas, de pelo menos 6 por m<sup>2</sup>.
  - Aplicação de uma camada de regularização em argamassa, com espessura entre 1 a 2 mm. Reforçar a argamassa com rede de fibra de vidro (com tratamento anti alcalino e com uma malha de 4 mm x 4mm), que deve ficar incorporada sobre esta camada. Aplicação de segunda camada de argamassa, após secagem da primeira. A segunda camada deve cobrir completamente a malha. As duas camadas, com a malha de reforço devem totalizar uma espessura de 4 mm.
- Pintar a fachada com tinta à base de silicatos, em duas demãos.

Os acessórios a utilizar devem ser os fornecidos pela marca do produto escolhido. [43]

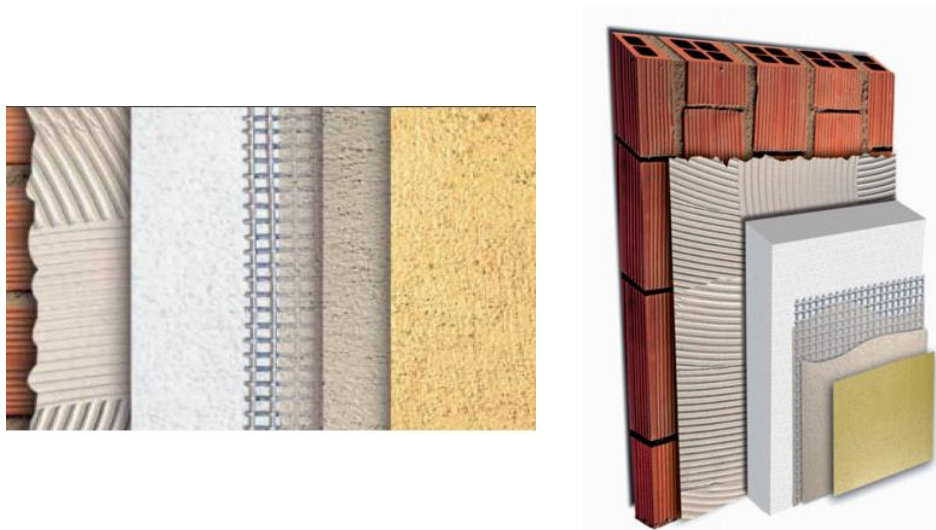


Figura 52 – Exemplo de produto: esquema sistema ETICS, produto: Sika ThermoCoat [43]

#### 5.2.3.5. SOLUÇÃO FE.4

A quarta solução consiste na aplicação de reboco delgado armado (Figura 53):

- Lavagem da fachada com jato de água, de baixa pressão, retirando a tinta e eliminando materiais soltos e poeiras, sem que a estrutura de suporte seja afetada.
- **Reparação das fissuras:**
  - Remoção do reboco numa faixa de 25 cm ao longo da fissura;
  - Reabertura da fissura em forma de “V” com espessura à face e profundidade de 10 mm, utilizando uma rebarbadora;
  - Limpar a fissura com jato de ar e auxílio de escovagem, se necessário;
  - Colmatar a fissura com mástique à base de poliuretano;
  - Recobrir superficialmente a fissura com fita de dessolidarização com 5 cm de largura;
  - Aplicar uma camada de argamassa à base de cimento e cal hidráulica;
  - Embebedimento da armadura de fibra de vidro com proteção antialcalina;
  - Aplicação de segunda camada de argamassa bastarda.
- Verificar o estado de aderência do revestimento, e substituir as áreas que não apresentam uma boa aderência.
- Aplicar o **reboco delgado armado**, constituído por uma argamassa fina de regularização de cimento mineral, em duas camadas, utilizando uma talocha metálica inoxidável:
  - Na primeira camada, incorporar uma rede de fibra de vidro anti-alkalina com uma malha de 4 mm x 4mm. A emenda entre as tiras de vidro deverá respeitar uma sobreposição de pelo menos 10 cm.
  - A segunda camada deve ocultar a rede, integralmente, e alisar a superfície, preparando-a para a aplicação do revestimento de acabamento, que deverá ser aplicado 3 dias depois da aplicação da segunda camada.
- Pintar a fachada com tinta à base de silicatos, em duas demãos.



Figura 53 – Exemplo de produto: SikaRep ®-815 [43, 52]

#### 5.2.4. FACHADA FACE INTERIOR

##### 5.2.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

É na face interior da fachada que se localizam as patologias estudadas através de ensaios. Apesar dos resultados obtidos não serem conclusivos, as paredes apresentam zonas com elevado teor de humidade. Desta forma, apresentam-se 4 soluções distintas. À exceção da primeira solução, as propostas apresentadas preconizam a ocultação das anomalias. Existindo a possibilidade de ocorrência de humidades ascensionais, apresentam-se soluções para a ocultação de patologias originadas pela presença de humidade proveniente do solo.

Tal como para a face exterior, para as 4 soluções da face interior, optou-se por uma tinta mineral à base de silicatos. Esta tinta tem um bom desempenho funcional e um bom acabamento. Garante durabilidade, é impermeável à água da chuva mas permeável ao vapor de água, permitindo que a parede “respire”. Exemplo de uma pintura como esta é a SikaColor – 460 W, tinta proposta para a face exterior. [43, 48]

##### 5.2.4.2. SOLUÇÃO FI.1

A primeira solução de intervenção no interior do edifício engloba a reparação das zonas degradadas (por infiltrações) e pintura geral, não atua ao nível das humidades ascensionais (partindo do princípio de não existirem):

- Escovar toda a superfície e remover tinta velha sem aderência;
- Limpar e desinfetar as áreas contaminadas por fungos;
- Isolar as zonas a reparar com uma demão de primário;
- Regularizar zonas de descasque com uma massa aquosa fina;
- Deixar secar, lixar e isolar as zonas de reparação com uma demão de primário;
- Pintar com tinta à base de silicatos, em duas demãos [52].

##### 5.2.4.3. SOLUÇÃO FI.2

A segunda solução não atua no sentido de eliminação das causas que originam a ascensão da humidade, mas ao nível das manifestações geradas pela presença de humidade ascensional, ocultando as anomalias provocadas pelas humidades ascensionais através de execução de uma parede interior com espaço de ar ventilado para o exterior (Figura 54):

- Ao longo da fachada, executar uns **orifícios de arejamento** que atravessem a parede, com um ligeiro declive do interior para o exterior. As aberturas devem ter no máximo uma área de 10 cm<sup>2</sup> por metro linear, em cada um dos níveis, pois a ventilação da caixa-de-ar é realizada através da execução destas aberturas em dois níveis da parede: um na base da parede e outro no topo [53], criando um espaço de ar fracamente ventilado.
- Aplicação de uma **membrana impermeável**, para que a humidade não atinja a parede de gesso cartonado.
- Executar uma **parede interior em gesso cartonado** (de cerca de 15 mm), e respetivos perfis metálicos de fixação, com uma distância de 10 cm da parede para criar a caixa-de-ar. A parede deve conter um isolamento térmico com uma espessura de 80 mm e de densidade 70 kg/m<sup>2</sup>, dada a ventilação gerada e para que cumpra a regulamentação térmica em vigor. A base da

parede deve ser impermeabilizada para impedir o aparecimento de patologias através da ascensão de água. A impermeabilização da base da parede garante a estanqueidade à água da nova parede, através da colocação de uma membrana betuminosa ou argamassa de polímeros. [4]

- Pintar com tinta á base de silicatos, em duas demãos.

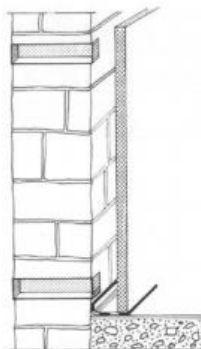


Figura 54 – Esquema representante da solução FI.2 adaptado de [16]

#### 5.2.4.4. SOLUÇÃO FI.3

Utilização de uma argamassa macroporosa é a terceira proposta. Constitui uma solução para o tratamento de paredes com patologias originadas pela presença de humidade e sais. A argamassa macroporosa possui um teor elevado de poros de grande dimensão (conseguidos através da introdução de ar ou aplicação de inertes leves) e elevada permeabilidade ao vapor de água. Permite a deposição dos sais no interior da sua estrutura macroporosa, pelo que aumenta a durabilidade dos revestimentos com estas patologias. Não é uma solução a aplicar em toda a parede, mas apenas nas áreas com manifestações devido a humidade ascensional.

- Remover a totalidade de reboco com presença de patologias (humidade ascensional/presença de sais), e até pelo menos 50 cm da zona degradada.
- Limpar e regularizar o suporte.
- Aplicar a **argamassa macroporosa** (Figura 55) manualmente ou por projeção, seguindo as técnicas de aplicação de rebocos correntes. A argamassa deve ser aplicada com uma espessura entre 2 a 3 cm, para que garanta espessura suficiente para acumulação de sais nos poros formados.
- Regularizar a superfície com talocha para a preparar a superfície para aplicação do acabamento.
- Pintar com tinta á base de silicatos, em duas demãos. [43]



Figura 55 – Exemplo de produto: reabilita RA 05, argamassa macroporosa [52] da Secil ou SikaMur®, argamassa monocomponente[43]

#### 5.2.4.5. SOLUÇÃO FI.4

A quarta solução consiste na aplicação de uma tela drenante e alveolar. Esta solução é, principalmente, utilizada para a reabilitação de caves húmidas, mas pode ser uma opção para a reabilitação das paredes interiores. É uma solução para a ocultação das anomalias, que permite a ventilação das paredes (pelo interior):

- Remover os rodapés;
- Limpar a parede;
- Colocação da **tela alveolar** (Figura 56);
- Fixar a membrana à parede com perfis (da mesma marca) que sustentam a tela e, que em conjunto com a estrutura realizada em pequenos alvéolos, permitem a ventilação;
- A armadura serve de suporte para o revestimento escolhido;
- Aplicar o revestimento em placas de gesso cartonado.

Esta solução deve incluir os acessórios de fixação e de remate, disponibilizados pelo mesmo fabricante da membrana e indispensáveis para a garantia de um sistema eficiente. [43]

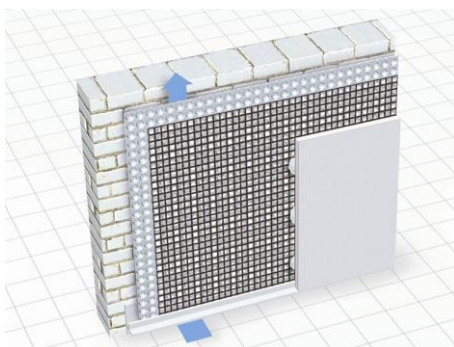


Figura 56 – Exemplo de solução – telas alveolares DELTA-PT [43]

## 5.2.5. CAIXILHARIA

### 5.2.5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As 4 soluções propostas para reabilitação da caixilharia foram elaboradas para a caixilharia-tipo apresentada na Figura 57, caixilharia igual à maioria dos vãos do edifício em estudo. Foi através deste desenho de caixilharia que foram solicitadas soluções às empresas consultadas.

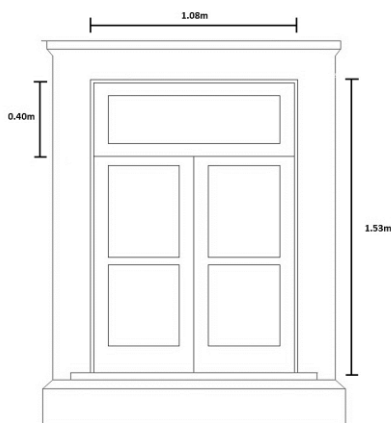


Figura 57 - Desenho de caixilharia-tipo, base para as propostas de reabilitação apresentadas

### 5.2.5.2. SOLUÇÃO CA.1

A primeira opção consiste na conservação da caixilharia existente através de técnicas e materiais contemporâneos (não sendo um edifício classificado, não se justifica a utilização de técnicas tradicionais):

- Remover, parcialmente, os componentes da caixilharia;
- Substituir as peças degradadas, como soleira e marcos, por madeira nova;
- Substituir as ferragens degradadas;
- Limpar a madeira e aplicar um tratamento de preservação;
- Aplicar nova pintura;
- Remover o mástique existente e aplicar novo mástique de forma a garantir a estanqueidade das juntas de ligação com o contorno;
- Aplicar vidros que garantam um melhor desempenho, como vidros duplos;
- Verificar o funcionamento da caixilharia e realizar afinações.

### 5.2.5.3. SOLUÇÕES CA.2, CA.3 E CA.4

As soluções CA.2, CA.3 e CA.4 são propostas de substituição da caixilharia por uma nova, classificada, com maior eficiência energética. Ou seja, janelas com características que garantem um aumento do isolamento térmico e acústico do edifício.

As soluções propostas para substituição da caixilharia mantêm o desenho original, mas em diferentes materiais. O vidro proposto para as três soluções é um vidro duplo como: Planitherm 4 + Argon 16 + incolor 4. Esta solução de vidro combina-se com qualquer tipo de material e as suas características permitem um isolamento térmico com cerca do triplo da eficiência de um vidro duplo comum. Estas características permitem uma diminuição dos gastos de energia para aquecimento e um melhor conforto. [42]

A solução CA.2 propõe a substituição da caixilharia existente por uma nova em madeira, a CA.3 por uma caixilharia em alumínio (com corte térmico, para que as soluções possam ser comparáveis) e a CA.4 por uma caixilharia em PVC.

Deve-se, ainda, intervir na configuração do peitoril para que se resolvam os problemas de escorrências e sujidade na fachada, embora este pormenor não faça parte das soluções desenvolvidas, considera-se essencial para eliminar as patologias descritas.

## 5.3. ANÁLISE COMPARATIVA DAS DIFERENTES SOLUÇÕES

### 5.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para cada solução pretende-se analisar as vantagens, desvantagens e os custos inerentes à sua execução e, desta forma, selecionar para cada elemento (cobertura, face exterior da fachada, face interior da fachada e caixilharia) a solução mais vantajosa e a solução de menor custo. Esta análise é apresentada nas Tabela 20 a Tabela 27.

Através da consulta às empresas e das informações solicitadas foi possível chegar a valores de custos para todas as soluções. Contudo estes valores não são exatos, variam com a empresa, marca, materiais, mão-de-obra, tempo de intervenção, entre outros, pelo que se optou por apresentar os custos por intervalos em vez de atribuir valores. Desta forma, foram definidos 4 intervalos de valores para caracterizar os custos inerentes a cada solução, sendo € o mais económico e €€€€ o mais dispendioso.

Tabela 19 – Classificação qualitativa dos custos das soluções

ORDEM DE GRANDEZA DOS CUSTO [€]	CLASSIFICAÇÃO
20-40	€
40-60	€€
60-80	€€€
>80	€€€€



## 5.3.2. COBERTURA

Tabela 20 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da cobertura

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
CO.1	Reabilitação da cobertura com: aplicação de membrana impermeabilizante e OSB	<p>Ripas em pinho tratado, menor deformação com o peso e calor do que as de PVC</p> <p>Ripado permite um canal de escoamento e ventilação</p> <p>Membrana respirável Sd de 0,02m</p> <p>Facilidade de transporte e de trabalho</p> <p>Membrana leve (150g/m<sup>2</sup>)</p> <p>OSB confere maior resistência</p> <p>Aplicação fácil, simples e rápida</p> <p>Adaptável a qualquer telha</p>	<p>Não permite aplicação em superfície descontínua</p> <p>Aplicação de OSB torna solução mais pesada e mais cara</p>
CO.2	Reabilitação da cobertura com: aplicação de membrana impermeabilizante	<p>Ripas em pinho tratado, menor deformação com o peso e calor, do que as de PVC</p> <p>Ripado permite um canal de escoamento e ventilação</p> <p>Permite aplicação em superfície descontínua</p> <p>Muito resistente</p> <p>Membrana respirável Sd de 0,15m</p> <p>Membrana leve 190g/m<sup>2</sup></p> <p>Adaptável a qualquer telha</p>	<p>Membrana menos permeável ao vapor do que a anterior</p> <p>Dificuldade de aplicação (sem OSB)</p> <p>Sd superior à solução anterior</p>
CO.3	Reabilitação da cobertura com: aplicação de subtelha e OSB	<p>Ondulação das placas permite caudal de ventilação telha/subtelha e subtelha/desvão</p> <p>Aplicação de ventiladores subtelha para garantir a passagem de ar</p> <p>Muito resistente</p> <p>OSB confere maior resistência</p> <p>Aplicação fácil, simples e rápida</p> <p>Adaptável a qualquer telha</p>	<p>Subcarga (3,1kg/m<sup>2</sup>)</p> <p>Tela não respirável</p> <p>Ripa em PVC, maior deformação com carga e calor da telha</p> <p>OSB torna solução mais pesada e mais cara</p>

<b>CO.4</b>	Reabilitação da cobertura com: aplicação de subtelha	Aplicação de ventiladores	Subcarga (3,1kg/m <sup>2</sup> )
		subtelha para garantir a passagem de ar	Tela não respirável
		Muito resistente	Ripa em PVC, maior deformação com carga e calor da telha
		Aplicação fácil, simples e rápida	Dificuldade de aplicação (sem OSB)
		Adaptável a qualquer telha	

Tabela 21 – Análise de custos para as soluções da cobertura

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO CUSTO [/m <sup>2</sup> ]
<b>CO.1</b>	Ripado + OSB + membrana 1 + acessórios + aplicação	€
<b>CO.2</b>	Ripado + membrana 2 + acessórios + aplicação	€
<b>CO.3</b>	Ripado + OSB + subtelha + acessórios + aplicação	€
<b>CO.4</b>	Ripado + subtelha + acessórios + aplicação	€

A solução mais vantajosa será a CO.1, a membrana garante impermeabilidade à água e é a solução com maior permeabilidade ao vapor. Apesar da aplicação das placas OSB contribuir para um aumento da sobrecarga da estrutura, aumenta também a resistência da cobertura.

A ondulação da placa de subtelha permite um caudal de ar telha/subtelha e subtelha/desvão e a solução prevê a colocação de ventiladores de subtelha (que permitem a passagem de do vapor, ventilando o desvão). Contudo as placas de subtelha não são permeáveis ao vapor, pelo que não permitem a passagem do vapor de água em toda a sua superfície da cobertura, tal como nas soluções com membranas respiráveis.

A solução mais económica é a CO.2, membrana impermeável à água líquida mas permeável ao vapor, de elevada resistência, dispensando a aplicação de OSB. Na solução CO.2 a membrana proposta é mais cara por causa das suas características, é uma membrana mais resistente. A aplicação desta membrana encarece por ser numa superfície descontínua.

A colocação da membrana ou da subtelha sem placas OSB encarece, uma vez que a aplicação da membrana ou subtelha sobre uma superfície descontínua tem um custo de mão-de-obra superior, dado o aumento da dificuldade do trabalho.

### 5.3.3. FACHADA FACE EXTERIOR

Tabela 22 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da fachada face exterior

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
------------------	-----------	-----------	--------------

<b>FE.1</b>	Novo reboco e pintura	<p>Solução igual à de origem</p> <p>Permeabilidade ao vapor de água (reboco tradicional à base de cal)</p> <p>Eliminação das patologias</p> <p>Substituição dos materiais de revestimento da fachada</p> <p>Bom desempenho</p> <p>Maior durabilidade</p> <p>Menor necessidade de manutenção em curto espaço de tempo</p>	<p>Decapagem de toda a fachada, processo moroso e dispendioso</p> <p>Proposta com maior tempo de execução</p> <p>Não altera o comportamento térmico e acústico do edifício (maior custo nos gastos de energia)</p> <p>Necessidade de mão-de-obra especializada</p>
<b>FE.2</b>	Reparação das fissuras	<p>Menor tempo de execução</p> <p>Solução mais económica</p>	<p>Exige compatibilidade dos materiais novos com os existentes e dificuldade na ligação dos mesmos</p> <p>Solução de menor durabilidade</p> <p>Ao manter o revestimento bastardo (rico em cimento Portland) não resolve o problema futuro de reaparecimento das patologias</p>
<b>FE.3</b>	Sistema ETICS	<p>Aplicação rápida</p> <p>Melhor comportamento e conforto térmico</p> <p>Ocultação das anomalias</p> <p>Correção de eventuais pontes térmicas</p> <p>Camada de reforço flexível, solução menos suscetível à fissuração</p> <p>Isolamento pelo exterior proporciona uma maior inércia térmica, permitindo uma temperatura interior mais uniforme</p> <p>Diminuição do risco de condensações</p> <p>Redução dos custos de climatização a médio prazo</p>	<p>Necessidade de mão-de-obra especializada</p> <p>Alteração a nível estético, com aumento considerável da espessura da parede</p> <p>Baixa resistência mecânica face a impactos pontuais</p> <p>Implica a substituição ou adaptação de alguns elementos da fachada (contornos da caixilharia)</p> <p>Custo inicial mais elevado relativamente às outras soluções</p>

	Recuperação do investimento a curto/médio prazo (melhora da eficiência energética)		
<b>FE.4</b>	Reboco armado	Camada de reforço flexível, menos suscetível à fissuração Ocultação das anomalias Aumento da ductilidade Melhor comportamento face a variações de humidade e temperatura em relação às soluções FE.1 e FE.2, conseguida pela aplicação da rede de fibra de vidro Menor tempo de execução, relativamente às soluções FE.1 e FE.2	Menor manutenção Não tem isolamento, logo não há alterações a nível térmico e acústico (maior custo energético)

Tabela 23 - Análise de custos para as soluções da fachada fac  
e exterior

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO CUSTO [/m <sup>2</sup> ]
<b>FE.1</b>	Remoção total do reboco Lavagem da fachada Aplicação de reboco tradicional à base de cal Aplicação de pintura de base silicatos	€€€
<b>FE.2</b>	Lavagem da fachada Tratamento das fissuras da fachada Aplicação de pintura	€€
<b>FE.3</b>	Lavagem da fachada Tratamento das fissuras da fachada Aplicação do sistema ETICS Aplicação de pintura	€€€
<b>FE.4</b>	Lavagem da fachada Tratamento das fissuras da fachada Aplicação do reboco delgado armado Aplicação de pintura	€€€

A solução FE.1 permite uma reabilitação de regresso às origens, com uma argamassa à base de cal, impermeabilidade à água líquida e excelente permeabilidade ao vapor.

A solução FE.2, apesar de apresentar um custo mais baixo, é aquela que oferece menor garantia de durabilidade.

A solução FE.3 é a solução que garante maior conforto térmico, mas tem o inconveniente da alteração aspeto da fachada. Embora a parede de alvenaria de granito (50 cm) garanta uma inércia térmica elevada, o valor do coeficiente de transmissão térmica da parede sem o ETICS é de  $2,87 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (superior ao  $U_{\text{máx}}$ ) e com ETICS de 4 cm de espessura é de  $0,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

A FE.4 apesar de mais dispendiosa do que a FE.2, garante maior durabilidade e impermeabilidade, uma vez que incorpora uma rede de fibra de vidro. Em relação à FE.3, não melhora o comportamento térmico da solução.

Para a escolha de uma solução é necessário perceber, junto do dono de obra e arquiteto, o grau de importância de manter o aspeto original da fachada e de melhorar comportamento térmico.

#### 5.3.4. FACHADA FACE INTERIOR

Tabela 24 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da fachada face interior

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
FI.1	Pintura	Solução económica e simples	Não elimina as patologias e reaparecimento provável Indispensável compatibilidade dos materiais
FI.2	Ocultação com placas de gesso cartonado	Ocultação das anomalias Criação de caixa-de-ar ventilada para o exterior Intervenção reversível Durabilidade	Necessidade de aplicação de isolamento térmico pelo interior Criação da caixa-de-ar e segunda parede, diminui a área útil dos comportamentos Realização de perfurações na fachada Necessidade de resolução de pormenores incompatíveis (como tomadas, interruptores, rodapés, remates)
FI.3	Tratamento humidades ascensionais com argamassas macroporosas	Argamassa permeável ao vapor de água, “respirável” Maior durabilidade em relação à substituição por rebocos correntes Compatibilidade com suportes antigos	Aumento da espessura da camada de revestimento Poros poderão ser insuficientes para a quantidade de sais
FI.4	Telas alveolares	Ocultação das anomalias Criação de caixa-de-ar ventilada para o interior	Necessidade de resolução de pormenores incompatíveis (como tomadas, interruptores, rodapés, remates)

Intervenção reversível  
Diminuição da área útil dos  
compartimentos muito pequena

Tabela 25 – Análise de custos para as soluções da fachada face interior

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO CUSTO [/m <sup>2</sup> ]
FI.1	Raspagem Desinfetante Primário Emassamento Pintura	€
FI.2	Perfuração da fachada Impermeabilizante Aplicação das placas gesso cartonado com isolamento Pintura	€€€
FI.3	Remoção da argamassa Colocação da argamassa macroporosa Pintura	€€€
FI.4	Aplicação da tela alveolar Aplicação da placa de gesso cartonado pintura	€€

A solução mais económica é a FI.1. Esta solução trata manifestações ao nível da tinta como machas de humidade, empolamento, destacamento, eflorescências, originadas por infiltrações. Mas não repara as patologias derivadas de humidades ascensionais. Pelo que só seria uma opção, caso se comprovasse que as patologias observadas não são originadas por humidade ascensional.

A solução mais vantajosa é a solução FI.2, permite a ocultação de patologias originadas pela ascensão de água e é uma solução com um bom desempenho térmico.

As soluções FI.2 e FI.3 podem ser boas soluções do ponto de vista da ocultação da patologia, devem ser analisadas com cuidado e ao pormenor, considerando os materiais e as patologias existentes.

A solução FI.4 permite a ocultação das patologias mas apesar de mais económica do que a FI.3, não permite ventilação pelo exterior, prejudicando o ar interior e não é compatível com a aplicação de uma camada de isolamento térmico pelo interior.

A solução FI.3 é localizada, ou seja, a argamassa macroporosa deve ser aplicada na zona degradada e envolvente até 50 cm. A restante área deve ser lixada de forma a retirar a tinta existente e prepara a parede para a aplicação de primário e duas demãos de tinta. Por isso, ao analisar os custos e vantagens das soluções é importante saber a área da parede afetada pela patologia.

#### 5.3.5. CAIXILHARIA

Tabela 26 – Análise de vantagens e desvantagens para as soluções da caixilharia

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
CA.1	Restaurar existentes	Preservação do edificado	<p>Processo moroso e dispendioso</p> <p>Fraco comportamento térmico e acústico, caixilharia não é certificada</p> <p>Frágil, exposto a variações de temperatura, humidade e vento</p> <p>Necessidade de manutenção periódica</p> <p>Não se pode dotar a caixilharia de vidros mais robustos pois a caixilharia é muito esbelta</p> <p>Não resolve problemas de infiltrações</p>
CA.2	Substituição madeira	<p>Maior conforto</p> <p>Mantém estética, e é um material versátil e fácil de trabalhar</p> <p>Bom isolamento térmico e acústico</p> <p>Permite ventilação natural</p> <p>Durabilidade, mas dependente da manutenção</p> <p>Material natural (ecológico)</p> <p><math>U_w = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{K)}</math></p>	<p>Custo mais elevado</p> <p>Exige manutenção</p> <p>Sensível à humidade e precipitação</p> <p>Sujeita a degradação biológica</p>
CA.3	Substituição alumínio com corte térmico	<p>Possibilidade de lacagem efeito madeira</p> <p>Maior resistência mecânica</p> <p>Melhor comportamento térmico e acústico</p> <p>Exige pouca manutenção</p> <p>Bom comportamento com fortes variações de humidade e temperatura</p> <p><math>U_w = 1,35 \text{ (W/m}^2\text{K)}</math></p>	<p>Limpeza regular</p> <p>Condensações superficiais</p> <p>(Fraco comportamento térmico, se caixilharia sem corte térmico)</p> <p>Não preserva material de origem</p>
CA.4	Substituição PVC	Bom isolamento térmico, acústico e elétrico	<p>Fraca resistência mecânica</p> <p>Sensível ao choque, baixas temperaturas e radiação solar.</p>

	Resistência à corrosão e agentes biológicos	Não preserva material de origem
	Exige pouca manutenção	
	Durabilidade	
	$U_w = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{K)}$	

Tabela 27 – Análise de custos para as soluções da caixilharia

REF <sup>a</sup>	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO CUSTO [/un]
CA.1	Restauro	€€€€
CA.2	Perfil + Acessórios Vidro (Planitherm 4 + Argon 16 + incolor 4) Fabricação + Colocação	€€€€
CA.3	Perfil + Acessórios Vidro (Planitherm 4 + Argon 16 + incolor 4) Fabricação + Colocação	€€€€
CA.4	Perfil + Acessórios Vidro (Planitherm 4 + Argon 16 + incolor 4) Fabricação + Colocação	€€€€

A solução CA.1 não tem interesse uma vez que as caixilharias estão num estado de degradação avançado e o custo de restauro não é compensatório relativamente ao custo de substituição de caixilharia.

A madeira (solução CA.2) garante um bom isolamento térmico e acústico, maior conforto, é natural e permite manter o material original, embora exija uma manutenção frequente e seja a mais vulnerável ao ataque biológico. A solução CA.3 é a que apresenta maior valor de coeficiente de transmissão térmica.

#### 5.4. SÍNTESE CRÍTICA

A definição da solução de intervenção é determinante na durabilidade dos edifícios. A escolha da intervenção a realizar deve ser cuidada e com base num estudo detalhado do edifício. É fundamental conhecer os pormenores construtivos do edifício e os materiais existentes, sejam estes de origem ou aplicados em intervenções posteriores. Este conhecimento é essencial para a definição dos materiais novos a aplicar, para que sejam compatíveis, garantindo um bom desempenho da solução.

Para escolher uma solução é necessário definir critérios para a intervenção a realizar. A reabilitação pretende eliminar as patologias, mas também melhorar as condições de habitabilidade do edifício e adequá-las às exigências atuais.

A escolha da solução dependerá das opções estéticas e funcionais delineadas pelo arquiteto e de acordo com as intenções do dono de obra.

As soluções para a face interior e exterior da fachada foram analisadas separadamente, contudo para definir a solução final de intervenção é necessário analisá-las em conjunto. Assim para se obter uma solução com características térmicas de acordo com os atuais valores regulamentares, a fachada deve ter isolamento térmico pelo exterior ou interior.



Dadas as características do edifício, as pontes térmicas não são um problema e podendo evitar a profunda alteração da fachada (com aplicação de ETICS), para a reabilitação da fachada propõe-se a solução FI.3 combinada com a FE.1. A combinação destas duas soluções garante um bom desempenho térmico, resolve o problema de (eventuais) humidades ascensionais e confere à fachada a sua originalidade.

Em relação à caixilharia propõe-se a substituição por uma caixilharia nova em madeira, dado o estado de degradação avançado da caixilharia original. A solução CA.2 permite um bom comportamento térmico e acústico e permite manter o material original, a madeira.

# 6

## CONCLUSÃO

### 6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo a reabilitação o conjunto de intervenções que visam melhorar os níveis de qualidade do edifício, garantindo um bom desempenho e comportamento face às exigências atuais é primordial a realização de um estudo detalhado do edifício a reabilitar.

A recolha de informação para caracterização do edifício revela-se fundamental para um conhecimento do edifício em estudo, das suas características, particularidades, processos construtivos e materiais; estes dados são essenciais para a elaboração do diagnóstico e das propostas de intervenção.

O levantamento das patologias permitiu um maior conhecimento das manifestações do edifício, da sua localização e distribuição. Concluiu-se que a patologia mais frequente é o destacamento de tinta e reboco, que ocorre, frequentemente, em simultâneo com outras como o empolamento; e que as patologias ocorrem predominantemente no teto do piso 1, nas instalações sanitárias do mesmo piso e nas fachadas poente e norte do edifício.

A sujidade que ocorre sob todos os vãos do edifício, delineando escorrências sob o peitoril, a degradação da cobertura e da rede de águas pluviais e a degradação das caixilharias e da respetiva ferragem são manifestações generalizadas, que ocorrem em todo o edifício. A fissuração ocorre de forma semelhante em todas as fachadas, sendo que as fissuras se desenvolvem a partir dos cantos dos peitoris, com desenvolvimento sobretudo na vertical.

Os ensaios realizados com humidímetro não foram conclusivos. O aparelho utilizado é de pouca precisão, e dada a degradação e heterogeneidade da área de ensaio os valores obtidos não são suficientes para concluir quanto à origem das patologias analisadas. Verifica-se que os resultados dos ensaios são condicionados pelas condições atmosféricas, no entanto, o período de ensaios deve ser mais extenso e em condições climáticas diversas, para que se possa proceder à comparação de dados, e atingir resultados conclusivos.

Cada patologia pode estar associada a diferentes causas e sem um conhecimento profundo da manifestação e da sua envolvente é difícil definir a origem do problema. Compreende-se que as patologias são predominantemente provocadas pela ação da humidade, causadas por infiltrações pela cobertura degradada, humidades ascensionais (ascensão da água e sais por capilaridade) e infiltrações pelas fissuras da fachada (provocada pela precipitação e direção e intensidade do vento). As restantes patologias resultam da falta de manutenção do edifício, envelhecimento dos materiais, utilização menos adequada dos espaços e intervenções menos corretas, desajustadas aos materiais e soluções construtivas existentes.

Com a pesquisa de soluções de intervenção e da oferta mercado, conclui-se que há uma infinidade de soluções para a reabilitação de edifícios. Contudo, as soluções apresentam diferenças quanto às qualidades, durabilidades e desempenhos, o importante é conseguir perceber qual a melhor solução de intervenção. Cada intervenção tem critérios e objetivos diferentes, estes variam com o edifício a intervir, com a época de construção, as técnicas e os materiais utilizados, as patologias desenvolvidas e respetivas causas. E todos estes parâmetros são essenciais para a definição da estratégia de reabilitação. Esta estratégia depende, também, das funcionalidades futuras do edifício, do valor histórico/patrimonial, do valor económico atribuído à intervenção, do estado de degradação do edifício. Não se tratando de um edifício de elevado valor arquitetónico/histórico é preciso ponderar sobre a importância de garantir as exigências de conforto térmico e acústico, em prol da conservação das linhas arquitetónicas.

A solução a adotar deve garantir as exigências de desempenho atuais, deve ser compatível com o edifício e materiais existentes, deve corresponder às exigências estéticas e funcionais delineadas pelo arquiteto e com as intenções e requisitos do dono de obra.

Para a reabilitação do edifício da ex-Direção de Gestão do Território da APDL foram estudadas soluções para a cobertura, face exterior da fachada, face interior da fachada e caixilharia, separadamente. Singularidades construtivas, ou seja, pontos frágeis como fachada/pavimento, fachada/laje cobertura, fachada/beiral), não foram abordadas. Contudo, percebe-se a importância destas para um projeto de reabilitação, e a necessidade de analisar o edifício como um todo para propor uma solução. Para além destas singularidades ficam a faltar propostas de reabilitação para os pavimentos, paredes interiores, tetos e estudo térmico, acústico, segurança contra incêndios e rede de águas.

As soluções propostas envolvem a substituição dos elementos com estado de degradação avançado (que já não desempenham as suas funções), a eliminação ou ocultação das anomalias, e procuram melhorar o comportamento térmico do edifício.

A solução mais vantajosa para a cobertura será a CO.1, com a aplicação de uma membrana impermeável à água mas permeável ao vapor. Apesar da aplicação das placas OSB contribuir para um aumento da sobrecarga da estrutura, aumenta também a resistência da cobertura. Esta é a solução que apresenta menor valor de Sd, garantindo uma cobertura “respirável”.

Dadas as características do edifício, as pontes térmicas não são um problema e podendo evitar a profunda alteração da fachada (com aplicação de ETICS), para a reabilitação da fachada propõe-se a solução a FI.3 combinada com a FE.1. Esta solução garante um bom desempenho térmico, resolve o problema de humidades ascensionais e confere à fachada a sua originalidade.

Em relação à caixilharia propõe-se a substituição por uma caixilharia nova em madeira, dado o estado de degradação avançado da caixilharia original. A solução CA.2 permite um bom comportamento térmico e acústico e permite manter o material original.

O estudo desenvolvido possibilitou a realização da dissertação em ambiente empresarial, na APDL e proporcionou o contacto com diferentes empresas, possibilitando a aquisição de conhecimentos técnicos, partilha de experiência, e uma perceção de diferentes abordagens, materiais e soluções para a reabilitação.

O desenvolvimento do presente trabalho, permitiu compreender as grandes dificuldades e desafios da reabilitação. As principais dificuldades consistem em identificar a origem da patologia e na capacidade de analisar todos os pormenores para construir o diagnóstico correto. Existe uma variada oferta de produtos e materiais no mercado, o que torna a avaliação das soluções muito difícil. As diferentes soluções exigem diferentes: mão-de-obra, equipamentos, materiais, tempos de intervenção, custos, conduzindo a soluções distintas ao nível da estética e do conforto

# 7

## BIBLIOGRAFIA

1. Lanzinha, J.N.F., *Inspeção Técnica De Edifícios Antigos*. 2014.
2. Gómez, C.D. *Rehabilitación, arquitectura, funcionalidad*. in 3.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios-PATORREB 2009. 2009. Universidade do Porto.
3. Appleton, J.A., *Reabilitação de Edifícios Antigos: Patologias e tecnologias de intervenção*. 2003.
4. Freitas, V., *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Edições Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto, 2012*. ISBN 978-972-99918-7-5, 300p.
5. Oliveira, R., H. Sousa, and J. Lopes, *Reabilitação de edifícios. Está o meio técnico preparado para o desafio?*, in *Repensar a construção*, s.d.c. civis, d.d.e. cvil, and f.d.e.d.u.d. Porto, Editors. 2004.
6. Post, J., A.R. Pereira, and P. Erkelens, *Repensar e reagir: Reabilitação temporizada do património edificado*, in *Repensar a construção*, s.d.c. civis, d.d.e. cvil, and f.d.e.d.u.d. Porto, Editors. 2004.
7. Leitão, D. and M. Almeida, *Metodologia de apoio á decisão em intervenções de reabilitação*, in *Repensar a construção*, s.d.c. civis, d.d.e. cvil, and f.d.e.d.u.d. Porto, Editors. 2004.
8. [http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=1217&tabela=leis](http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1217&tabela=leis), Maio 2017.
9. <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>, Julho 2017.
10. [http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?artigo\\_id=2408A0002&nid=2408&tabela=leis&pagina=1&ficha=1&nversao](http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?artigo_id=2408A0002&nid=2408&tabela=leis&pagina=1&ficha=1&nversao) Julho, 2017.
11. [http://www.solerpalau.pt/docs/NP\\_1037-1\\_Ventilacao\\_produtos\\_combustao\\_aparelhos\\_gas-Ventilacao\\_natural.pdf](http://www.solerpalau.pt/docs/NP_1037-1_Ventilacao_produtos_combustao_aparelhos_gas-Ventilacao_natural.pdf), Maio 2017.
12. [http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=1210&tabela=leis](http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1210&tabela=leis), Maio 2017.
13. Henriques, F., *Humidade em paredes*. 1994: Laboratorio nacional de engenharia civil.
14. de Freitas, V.P., *Humidade Ascensional*. Vol. 3. 2008: FEUP edições.
15. <http://content.fluke.com/comx/fluke-connect/PT/PTPT/index.html#see-the-tools>, Julho 2017.
16. De, H.A.E.P.T., *Mestrado Em Construção Cadeira De Reabilitação Não-Estrutural De Edifícios*. 2003.
17. Pinho, F., Et Al., *Aspetos Construtivos E Funcionais Das Paredes Divisórias Na Construção Tradicional*. Lourenço, Paulo; Et Al.–Paredes Divisórias: Passado, Presente E Futuro. Porto: Ed. Universidade Do Minho, 2011.
18. DA SILVA, J.M., *Alvenarias Não Estruturais Patologias E Estratégias De Reabilitação*. 2002, Seminário Sobre Paredes De Alvenaria.
19. Mendes, J.M. and V. Abrantes. *Observação, registo, controlo e diagnóstico de fissuração em paredes não estruturais de alvenaria*. in 1.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios-Patorreb 2003. 2003. Universidade do Porto.

20. Giocoechea, M. and V. Monjín, *Intervención en Patología de la Edificación–Actuaciones en un Diagnóstico*. 2006, Informes.
21. Campanella, C., *Obras De Conservação E Restauro Arquitectónico: Condições Técnicas Especiais*. 2003: Câmara Municipal De Lisboa. Licenciamento Urbanístico E Reabilitação Urbana.
22. Colen, I.F., J. De Brito, And V. De Freitas, *Técnicas De Ensaio In-Situ Para Apoio À Manutenção Predictiva De Rebocos De Fachada*. 2.º Encontro Sobre Patologia E Reabilitação De Edifícios-Patorreb 2006, 2006.
23. Barreira, E. and V.P. de Freitas, *Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios*. 2004.
24. Barreira, E. and V.M.A.P. de Freitas, *Avaliação do conforto térmico de revestimentos de pavimento através da termografia de infravermelhos*. 2005.
25. Santos, V., Vilhena et al, *Desenvolvimento de metodologias para avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas*, in *Repensar a construção*, s.d.c. civis, d.d.e. civil, and f.d.e.d.u.d. Porto, Editors. 2004.
26. Santos, A.R. and M. Veiga, *Argamassas compatíveis para edifícios antigos*. Engenharia para a sociedade. Investigação e inovação. Jornadas LNEC, 2012.
27. de Abreu, D.M.F.F., *Técnicas de diagnóstico utilizadas em engenharia civil*. 2013.
28. Gaspar, P., I. Flores-Colen, and J. de Brito. *Técnicas de diagnóstico e classificação de anomalias por perda de aderência em rebocos*. in *2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal*. 2007.
29. Maia, J. and E.T. Civil, *Inspecções e Diagnóstico. Tecnologias para a manutenção e reabilitação de estruturas*. 2007, Oeiras: ISQ–Instituto de Soldadura e Qualidade.
30. Córias, V., *Guia Prático Para A Conservação De Imóveis*. Edição Dom Quixote, 2004.
31. Varum, A.T.A.C.H., A. Tavares, And A. Costa, *Manual De Reabilitação E Manutenção De Edifícios Guia De Intervenção*. Aveiro: Inovadomus, 2011.
32. Do Rosário Veiga, M., *Intervenções Em Revestimentos Antigos: Conservar, Substituir Ou... Destruir*.
33. Lopes, N.V.R., *Reabilitação De Caixilharias De Madeira Em Edifícios Do Século Xix E Início Do Século Xx*. 2006, Universidade De Coimbra.
34. <http://www.apdl.pt/estatutos>, Julho 2017.
35. <http://www.apdl.pt/galeria-de-imagens-porto>, Junho 2017.
36. Sousa, F.d. and J.F. Alves, *Leixões: uma história portuária*. Administração dos Portos Douro e Leixões, Porto de Leixões, 2002. **367**.
37. Alves, J.F. and E.B. Dias, *O fio de água: o Porto e as obras portuárias (Douro-Leixões)*. Revista da Faculdade de Letras: História, III série, vol. 2 (2001), p. 93-106, 2013.
38. Tavares, J.F.C. and J.M. Esteves, *100 Obras de Engenharia Civil no século XX: Portugal*. 2000, Ordem dos Engenheiros, Lisboa.
39. Alves, J.F. and J.L. Torres, *Douro & Leixões. A Vida Portuária sob o Signo dos Bilhetes Postais*. Direcção gráfica de Armando Alves. Porto de Leixões, 2002.
40. <https://www.google.pt/maps/search/porto+de+leix%C3%B5es/@41.1821449,-8.7098932,4583m/data=!3m1!1e3>, Maio 2017.
41. <http://www.stanleysites.com/uploads/eu/downloads/manuals/laser-tools/Sensors/77-030-Moisture-Meter-UK-DE.pdf>, Outubro 2017.
42. [https://poseur.portugal2020.pt/media/38402/port-379\\_a-rect-349\\_b.pdf](https://poseur.portugal2020.pt/media/38402/port-379_a-rect-349_b.pdf), Julho 2017.
43. <http://www.doerken.de/media/docs/de/05-prospekte/Maxx-Plus.pdf>, Julho 2017.
44. Veiga, R. And A.R. Santos, *As Argamassas De Cal Hidráulica Natural Na Reabilitação*. Rev. Pedra Cal, 2015. **58**: P. 38-40.
45. Colen, I.F., Et Al., *A Resistência Superficial Como Característica De Desempenho De Rebocos Exteriores*. 2.º Encontro Sobre Patologia E Reabilitação De Edifícios-Patorreb 2006, 2006.
46. Do Rosário Veiga, M., *Fachadas Rebocadas: Anomalias E Estratégias De Resolução*.
47. Veiga, M.d.R., *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos-Métodos e materiais*. 2009.

48. Tavares, M., *Revestimentos por pintura para edifícios antigos: um estudo experimental sobre as caiações e as tintas de silicatos*. Caderno de Edifícios, 2002(2): p. 139-151.
49. <https://www.weber.com.pt/revestimento-e-renovacao-de-fachadas/solucoes/reabilitacao-de-paredes-antigas/rebocos-de-regularizacao/webercal-antique.html>, Julho 2017.
50. <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-pb/21%20Revestimentos%20de%20paredes%20-%2022%C2%AA%20a%2024%C2%AA%20aulas%20te%C3%B3ricas.pdf>, Junho 2017.
51. Veiga, M.R. and S. Malanho. *Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes*. in *3º Congresso Português de Argamassas de Construção*. Lisboa: LNEC. 2010.
52. [http://antigo.apcmc.pt/apcmc/2014/17\\_congresso\\_seminario\\_int/img/APCMC\\_ArgamassasSecasReabilitacaoUrbana.pdf](http://antigo.apcmc.pt/apcmc/2014/17_congresso_seminario_int/img/APCMC_ArgamassasSecasReabilitacaoUrbana.pdf), Julho 2017.
53. Henriques, F., *Paredes Duplas. Conceção E Critérios De Estanquidade*. Acongresso Nacional Da Construção@, Lisboa, Ist, 2001. 17.